

ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ



ALANYA
**ALAADDİN
KEYKUBAT**
ÜNİVERSİTESİ

Cilt:3 Sayı:3 (Eylül-Aralık 2021)

Volume:3 Issue:3 (September-December 2021)

ALKU
JOURNAL of SCIENCE

e-ISSN 2667-7814

**Alanya
Alaaddin Keykubat University**

DERGİNİN KÜNYESİ / JOURNAL INFO

Derginin Adı / Journal Name: ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi / ALKU Journal of Science

Kısa Adı/ Short Name:

e-ISSN: 2667-7814

Doi prefix: 10.46740/alku.

Yayın Dili / Publication Language : Türkçe / English

Yayın Periyodu / Publication Period: Yılda üç kez (Nisan, Ağustos ve Aralık) / Three times a year (April, August, and December)

Sahibi / Owner: Prof. Dr. Ekrem KALAN, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rektörü

Sorumlu Yazı İşleri Müdürü / Publishing Manager: Prof. Dr. Mehmet KANOĞLU

Kuruluş / Establishment: ALKÜ Fen Bilimleri Dergisi, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi tarafından tüm mühendislik bilimleri ve temel bilimler alanında yılda 3 kez yayınlanan hakemli bir dergidir. Dergimizde, Türkçe ve İngilizce dillerinde orijinal araştırma çalışmaları ve derlemeler yayımlanmaktadır. Bu dergi, hakemli ve açık erişimli bir uluslararası mühendislik bilimleri ve temel bilimler dergisidir. Değerlendirme ve yayınlanma süreçlerinde yazarlardan ücret talep edilmez.

ALKU Journal of Science is an international, peer-reviewed journal which is published by Rafet Kayış Engineering Faculty of Alanya Alaaddin Keykubat University in all areas of engineering and basic science. ALKU Journal of Science is a triannually published open access journal operating an online submission and peer review system which allows authors to submit articles online and track their progress. No charges are required from the authors in all of the publication steps.

Dizinler ve Platformlar / Indexing and Platforms: Google Scholar, Cosmos Impact Factor, ResearchBip, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), Asos Index, International Innovative Journal Impact Factor(IIJIF), Scientific Indexing Services(SIS)

Web Adresi/ Web address : <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

Yayınlayan Kuruluş / Publisher : Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi / Alanya Alaaddin Keykubat University

Makale gönderim ve takip sistemi / Article submission and tracking system: ULAKBİM Dergi Sistemleri, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/alku>

Web barındırma ve teknik destek / Web hosting and technical support: Dergipark Akademik <http://dergipark.gov.tr/>

İletişim / Contact: Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Alanya, Antalya. E-mail: alkufenbilimleridergisi@alanya.edu.tr Tel/Phone: 0242 5106060 (2545)

EDİTÖR / EDITOR

Prof. Dr. Mehmet KANOĞLU, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

ALAN EDİTÖRLERİ / SUBJECT EDITORS

Dr. Öğr. Üyesi Bertan Beylergil, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Mechanical Engineering

Alan: Makine Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Murat Aksel, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Alanya, Antalya

Subject: Civil Engineering

Alan: İnşaat Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Ciğdem Dülgerbaki, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Chemistry

Alan: Kimya

Dr. Öğr. Üyesi İrem Küçükkoğlu, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Temel Bilimler Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Mathematics

Alan: Matematik

Doç. Dr. Fikri Serdar Gökhan, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Electrical-Electrical Engineering

Alan: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe Gökhan, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Genetik ve Biyomühendislik Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Genetic Engineering

Alan: Genetik Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Tuğba Aktar Küçükarslan, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Food Engineering

Alan: Gıda Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Emir Hüseyin Özder, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Subject: Industrial Engineering

Alan: Endüstri Mühendisliği

YAYIN VE TEKNİK EDITÖRLERİ / PUBLISHING AND TECHNICAL EDITORS

Arş .Gör. Gökhan Canbolat, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

Arş .Gör. Mustafa Altuğ Peker, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Rafet Kayış Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Alanya, Antalya

YAYIN KURULU / PUBLISHING BOARD

Hüseyin AKILLI (Prof. Dr., Çukurova Üniversitesi)

Gökhan APAYDIN (Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi)

Naci ÇAĞLAR (Prof. Dr., Sakarya Üniversitesi)

Hakan ÇELEBİ (Doç. Dr., Aksaray Üniversitesi)

Rossana DIMITRI (Dr., University of Salento)

Tamio ENDO (Prof. Dr., Mie University)

John GELEGENIS (Prof. Dr., Technological Educational Institute of Athens)

Viktor GRIBNIAKN (Prof. Dr., Vilnius Gediminas Technical University)

Anastas IVANOV IVANOV (Doç. Dr., Todor Kableshkov Higher School of Transport)

İlker Murat KOÇ (Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi)

Anatoli I POPOV (Prof. Dr., University of Latvia)

Bilsay SÜMER (Dr., Hacettepe Üniversitesi)

Cevat SARIOĞLU (Prof. Dr., Marmara Üniversitesi)

Francesco TORNABENE (Dr., University of Bologna)

Jamal Seyyed Monfared ZANJANI (Dr., University of Twente)

ALKÜ FEN BİLİMLERİ DERGİSİ 2021:3(3)

ALKU JOURNAL OF SCIENCE 2021:3(3)

İçindekiler / Contents

1. Sonlu Elemanlar ve İstatistiksel Yöntemler Kullanılarak Ankastre Tabakalı Hibrit Kompozit Plakaların Burkulma Analizi / *Buckling Analysis of Cantilever Laminated Hybrid Composite Plates using Finite Element and Statistical Methods*
Savaş EVRAN
.....1-8
2. Yazılım Parametreleri ile ilgili Veri Madenciliğine Dayalı Çıkarımlar / *Data Mining based Inferences about Software Parameters*
Mustafa BATAR, Kökten BİRANT
.....9-24
3. Çelik Kiriş ve Kolon Plastik Mafsal Parametrelerinin ve Şekil Değiştirme Sınır Değerlerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi / *Comparative Investigation of Plastic Hinge Parameters and Strain Limit States of Steel Beam and Column*
Mustafa Berker ALICIOĞLU
.....25-41
4. Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği Bulunan Betonarme Binaların Deprem Performansının Araştırılması / *Investigation of Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings Having Stiffness Irregularity between Adjacent Floors*
Berk UYAN, R. Ertuğrul ERDEM
.....42-54

Buckling Analysis of Cantilever Laminated Hybrid Composite Plates using Finite Element and Statistical Methods

Savaş Evran^{1*} 

¹Canakkale Onsekiz Mart University, Canakkale Faculty of Applied Sciences, Department of Energy Management, Canakkale, Turkey.

*sevran@comu.edu.tr

Abstract

In this study, the critical buckling load of hybrid composite plates with three layers was analyzed using numerical and statistical methods. Laminated hybrid composite plates were designed using glass-epoxy, boron-epoxy, carbon-epoxy, and metal. The outermost layers of the plates were modelled using fiber reinforced composite materials whereas the innermost layer of plates was created using Aluminum material (Al2024-T3). Numerical buckling behavior was calculated using finite element software ANSYS. Analysis of signal-to-noise ratio was utilized to decide the effects and optimal levels of the plates and their fiber orientation angles on buckling load. Analysis of variance at the 95 % confidence level was employed to indicate the control factors which have significant effect on the buckling responses.

Keywords: Buckling, Hybrid composite, Finite Element, Taguchi Method.

Özet

Bu çalışmada üç tabakalı hibrit kompozit plakaların kritik burkulma yükü sayısal ve istatistiksel metotlar kullanılarak analiz edilmiştir. Tabakalı hibrit kompozit plakalar cam/epoksi, bor/epoksi, karbon/epoksi ve metal kullanılarak dizayn edilmiştir. Plakaların en üst tabakaları fiberle güçlendirilmiş kompozitlerden modellenirken en iç tabakaları Alüminyum (Al2024-T3) malzemeden oluşturulmuştur. Sayısal burkulma davranışı sonlu elemanlar yazılımı ANSYS kullanılarak hesaplanmıştır. Sinyal-Gürültü oran analizi burkulma davranışı üzerinde plakaların optimal seviyelerini ve fiber oryantasyon açılarının etkilerini karar vermek için kullanıldı. Burkulma yanıtları üzerinde önemli etkiye sahip olan kontrol faktörlerini belirlemek için % 95 güven seviyesinde varyans analizi uygulandı.

Anahtar Kelimeler: Burkulma, Hibrit Kompozit, Sonlu Elemanlar, Taguchi Metodu.

1. INTRODUCTION

Laminated composite plates are used in many areas due to their low density, corrosion resistance and high strength properties compared to a lot of metal materials. Because of these superior properties, laminated composite plates and beams were used for many analyses such as buckling [1], free vibration [2], deflection [3], buckling temperature [4], twisting angle [5], thermal stress [6] etc. Buckling behavior of laminated composite plates is a vital issue and it is important to focus on the buckling phenomenon. There are many numerical and analytical studies including critical buckling load of laminated composites and the impacts of factors such as fiber orientation angle, sum of number of plies, plate sizes, boundary conditions, [7, 8], size and position of delamination [9-13]. In literature, composite structures made of glass-epoxy, boron-epoxy, carbon-epoxy were widely utilized. Heidari-Rarani et al. [14] investigated the influence of ply stacking sequence for theoretical and experimental buckling analysis of laminated composites made of E-glass/epoxy. Jeyaprakash et al. [15] examined of the buckling behavior of carbon epoxy fiber composite under buckling load using experimental and numerical methods. Erdem et al. [16] analyzed the post-buckling behavior of composite plates made of carbon fiber epoxy and they used ANSYS software for numerical approach. Guo et al. [17] examined the buckling and post-buckling behavior of a composite made of carbon/epoxy and C-section structure. Sudhirsasthy et al. [18] analyzed the buckling behavior of thin wall stiffened composite panels and they used finite element approach. Also, some optimization methods for composites were used such as genetic algorithm [19-22] and the modified feasible direction [23, 24]. In this study, Taguchi method was used to optimize the composite plates and fiber orientation angles. This method decreases the test numbers. Also, hybrid laminated composite plates have been used for different analyses in many areas. Yalçın and Ergene [25] determined the effect of the crack placed in different areas within the hybrid composite material with different fiber angles on the mechanical behavior by finite element analysis. Akbulut et al. [28] presented a study including non-linear optimization methods on composite structures under vibration and buckling loads. In analysis, laminate hybrid composite materials reinforced with glass-epoxy, boron-epoxy, carbon-epoxy, glass-boron-carbon-epoxy were used. It is seen from mentioned literature review that there are several studies including various analyses of laminated composite and hybrid composite plates. In this study, critical buckling load of hybrid composite plates with three layers was analyzed using numerical and statistical methods according to finite element method and Taguchi L9 orthogonal array consisting of two control factors with three levels.

2. MATERIALS AND METHODS

In buckling analysis, hybrid composite plates made from metal material and fiber reinforced composite were used. The plates have three laminates. The outermost layers of the plates were made by composite materials such as glass-epoxy, boron-epoxy, carbon-epoxy, glass-boron-carbon-epoxy. Innermost layer of plates was designed using Aluminum material (Al2024-T3). Mechanical properties of metal and composite materials were illustrated in Table 1.

Table 1. Material properties [25]

Materials	E_x (GPa)	E_y (GPa)	E_z (GPa)	ν_{xy}	ν_{xz}	ν_{yz}	G_{xy} (GPa)	G_{xz} (GPa)	G_{yz} (GPa)
Al2024-T3	72.4	72.4	72.4	0.33	0.33	0.33	27.6	27.6	27.6
Glass/Epoxy	38.5	9.35	9.35	0.22	0.05	0.05	3.47	3.47	3.47
Boron/Epoxy	202.4	9.87	9.87	0.25	0.01	0.01	3.65	3.65	3.65
Carbon/Epoxy	112.5	9.77	9.77	0.25	0.02	0.02	3.29	3.29	3.29

Numerical buckling analyses for the first mode in ANSYS software were conducted using Taguchi L9 orthogonal array with two control factors and three levels. The control factors were selected as hybrid composite plates and fiber orientation angles. The levels of the first control factor were assumed as

Glass/Epoxy-Al- Glass/Epoxy, Boron/Epoxy-Al- Boron/Epoxy, and Carbon/Epoxy-Al- Carbon/Epoxy whereas the levels of the second control factor were determined as 0, 45, and 90 degrees. The control factors and levels were tabulated in Table 2.

Table 2. Control factors and levels

Control Factors	Symbol	Levels		
		Level 1	Level 2	Level 3
Plate Type	A	Glass/Epoxy-Al- Glass/Epoxy	Boron/Epoxy-Al- Boron/Epoxy	Carbon/Epoxy-Al- Carbon/Epoxy
Fiber Angle	B	[0]	[45]	[90]

To obtain the maximum critical buckling load of laminated hybrid composite plates, “larger is better” characteristic was used for analysis of S/N ratio. The characteristic was given in Equation 1 [26].

$$(S/N)_{HB} = -10. \log \left(n^{-1} \sum_{i=1}^n (y_i^2)^{-1} \right) \tag{1}$$

in which, n is the number of numerical calculations in a trial and y_i means i^{th} data examined. Statistical analyses were performed in Minitab 15 software.

3. FINITE ELEMENT ANALYSIS

Finite element analyses for critical buckling load were carried out using ANSYS software. In analyses, SHELL281 element type was used. Cantilever hybrid composite plate have dimensions 100 mm (length) × 100 mm (width) × 1.5 (thickness). Thickness of each lamina has 0.5 mm. This element consists of 8 nodes which has 6 degrees of freedom for each node: translations for the x, y, and z axes, and rotations regarding the x, y, and z-axes [27]. Hybrid composite plates with three layers was modelled as cantilever boundary condition. Block lanczos eigenvalue extraction method was utilized for buckling analysis and this method can be offered for large symmetric eigenvalue solutions. The outermost layers of the plates were created using fiber reinforced composite materials with different fiber orientation angles such as 0°, 45°, and 90°. Fiber orientation angles of laminated hybrid composite plates were illustrated in Figure 1.

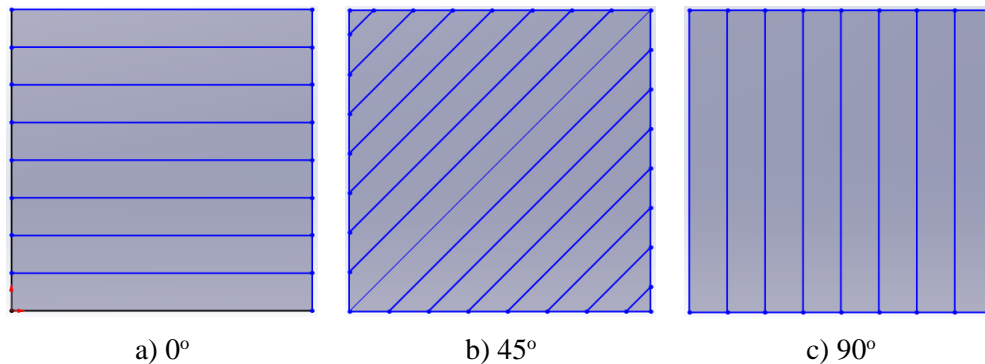


Figure 1. Fiber orientation angles of composite plates

4. RESULTS AND DISCUSSIONS

The aim of this study is to analyze the effect of the laminated hybrid composite plates and fiber orientation angles on the critical buckling load numerically and statistically. Finite element results and their S/N ratio data were demonstrated in Table 3.

Table 3. Results based on L9 orthogonal array

Run	Designation	Control Factors		Results	
		Hybrid Composite Plates	Fiber Angle	Critical Buckling P_{cr} (N)	S/N ratio η (dB)
1	A ₁ B ₁	Glass/Epoxy-Al-Glass/Epoxy	[0]	279.335	48.9225
2	A ₁ B ₂	Glass/Epoxy-Al-Glass/Epoxy	[45]	160.458	44.1072
3	A ₁ B ₃	Glass/Epoxy-Al-Glass/Epoxy	[90]	83.2541	38.4081
4	A ₂ B ₁	Boron/Epoxy-Al-Boron/Epoxy	[0]	1373.810	62.7585
5	A ₂ B ₂	Boron/Epoxy-Al-Boron/Epoxy	[45]	157.941	43.9699
6	A ₂ B ₃	Boron/Epoxy-Al-Boron/Epoxy	[90]	86.7477	38.7652
7	A ₃ B ₁	Carbon/Epoxy-Al-Carbon/Epoxy	[0]	774.189	57.7769
8	A ₃ B ₂	Carbon/Epoxy-Al-Carbon/Epoxy	[45]	133.188	42.4893
9	A ₃ B ₃	Carbon/Epoxy-Al-Carbon/Epoxy	[90]	86.054	38.6954
Overall Mean ($\overline{T_{PCR}}$)				348.331	-

Numerical analyses were carried out in ANSYS software and images of the results obtained were shown in Figure 2. As can be seen from Figure 2, the maximum affected edges were determined as the edge subjected to load for cantilever plates. This finding is in agreement with study consisting of deflection [3] analysis of laminated composite plates.

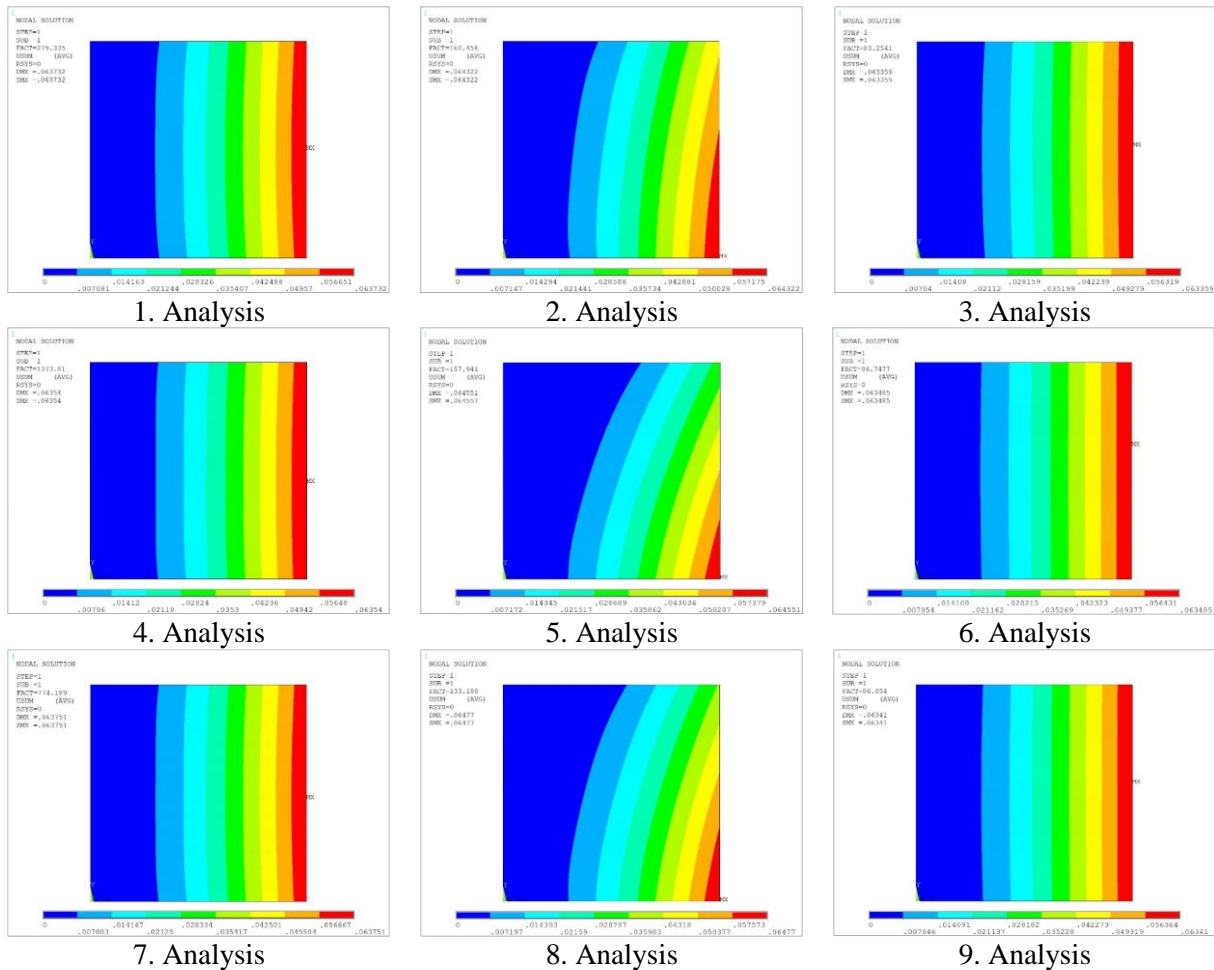


Figure 2. ANSYS results of buckling behavior for the first mode

4.1 Impact of Control Factors

Analysis of S/N ratio was carried out to analyze the optimal levels of hybrid composite types and fiber orientation angles. The average values of S/N ratio and mean for each level of each control factor were calculated in Minitab statistical software and these results were demonstrated in Table 4.

Table 4. Response table for buckling load

Level	S/N ratio (dB)		Mean (N)	
	A	B	A	B
1	43.81	56.49	174.35	809.11
2	48.50	43.52	539.50	150.53
3	46.32	38.62	331.14	85.35
Delta	4.69	17.86	365.15	723.76
Rank	2	1	2	1

It can be seen from Table 4 that the optimal result for buckling analysis was obtained using hybrid composite plate at the second level and fiber orientation angle at the first level. In other word, the maximum critical buckling load was calculated using Boron/Epoxy-Al-Boron/Epoxy plate made of fiber orientation angle with 0 degree. To see the effect of each control factor, main effect plot was plotted using the average data of S/N ratio based on numerical results. The plot was shown in Figure 3.

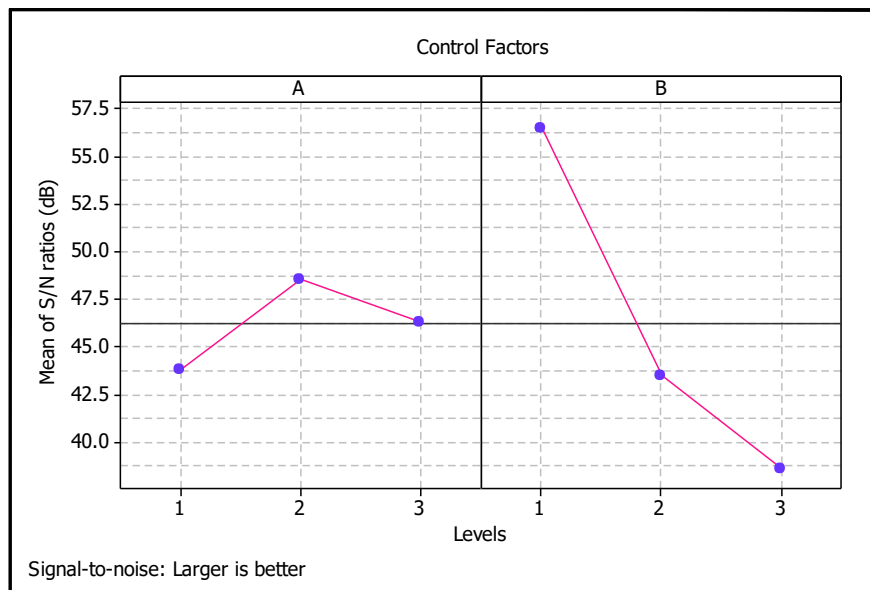


Figure 3. Main effect of control factors for S/N ratio

According to Figure 3, the critical buckling load of hybrid composite plate made of Boron/Epoxy-Al-Boron/Epoxy is higher than that of plates designed from Glass/Epoxy-Al-Glass/Epoxy and Carbon/Epoxy-Al-Carbon/Epoxy. In other word, the maximum critical buckling load for the first mode are obtained using plates made of Boron/Epoxy-Al-Boron/Epoxy, Carbon/Epoxy-Al-Carbon/Epoxy, and Glass/Epoxy-Al-Glass/Epoxy, respectively. This situation can be explained by the high mechanical properties of hybrid composite plates. The increase of the mechanical property such as elasticity modules can cause the increase of critical buckling of the plates. Also, Figure 3 shows that the increase of fiber orientation angle from 0 to 90 in degree leads to the decrease of the critical buckling load of fiber reinforced composite. This finding

is in agreement with studies including buckling [1], free vibration [2], and deflection [3] analyses of fiber reinforced composites.

4.2 Analysis of Variance

Analysis of Variance (ANOVA) is a statistical method, and it was carried out to determine the effect ratio and significant levels of control factors such as laminated hybrid composite plates and fiber orientation angles on the critical buckling load of plates. ANOVA was performed at % 95 confidence level and result obtained was tabled in Table 5.

Table 5. ANOVA result for buckling load

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	% Effect
A	2	201332	201332	100666	1.01	0.442	12.88
B	2	961806	961806	480903	4.81	0.086	61.53
Error	4	399897	399897	99974			25.59
Total	8	1563035					100

As can be seen from Table 5, the maximum effects of control factors on buckling load of hybrid composite plates were determined as fiber orientation angle with 61.53 % and type of hybrid composite plates with 12.88 %, respectively. Hybrid composite types and fiber orientation angles for 95 % confidence level have a meaningless effect on the buckling analysis since P value is smaller than 0.05 value.

4.3 Estimation of Optimal Critical Buckling Load

Estimated critical buckling load for the first mode was calculated using overall data at the optimal level for each control factor. Estimated critical buckling load based on Taguchi method may be solved using Equation 2 [26].

$$\mu_{P_{CR}} = \overline{A_2} + \overline{B_1} - \overline{T_{P_{CR}}} \quad (2)$$

where, $\overline{A_2} = 539.50$ and $\overline{B_1} = 809.11$ show the average data of the critical buckling load for the first mode of hybrid composite plate at the second level and fiber orientation angle at the first level. In addition, $\overline{T_{P_{CR}}}$ is average mean for Taguchi's L9 orthogonal array and it was computed as 348.331 N. Thus $\mu_{P_{CR}}$ was found as 1000.28 N.

5. CONCLUSION

The purpose of this numerical and statistical study is to calculate the critical buckling load of hybrid composite plates with three layers. Laminated hybrid composite plates were constructed using glass-epoxy, boron-epoxy, carbon-epoxy, and metal. The outermost layers of the plates were formed using fiber reinforced fiber composite materials whereas the innermost layer of plates was generated using Aluminum material (Al2024-T3). Finite element buckling analyses was performed using finite element software ANSYS. Analysis of signal-to-noise ratio was employed to choose the effects and the best levels of the plates and their fiber orientation angles under buckling load. Analysis of variance was utilized to show the control factors which have substantial influence on the buckling behavior. According to this study, the critical buckling load of hybrid composite plate made from Boron/Epoxy-Al-Boron/Epoxy is higher than that of plates constructed from Glass/Epoxy-Al-Glass/Epoxy and Carbon/Epoxy-Al-Carbon/Epoxy. The increase of fiber orientation angle from 0 to 90 in degree causes a decrease on the critical buckling load. The maximum impacts of control factors on buckling load of hybrid composite plates were defined as fiber orientation angle with 61.53 % and type of hybrid composite plates with 12.88 %. Prediction of optimal critical buckling load was found as 1000.28 N in accordance with Taguchi method. Also, the maximum affected edges were defined as the edge subjected to load for cantilever plates.

REFERANSLAR

- [1] Evran, S., (2020). "Numerical and statistical buckling analysis of laminated composite plates with functionally graded fiber orientation angles", *Polymers and Polymer Composites*, 28, 7, 502-512.
- [2] Evran, S., (2020). "Experimental and statistical free vibration analyses of laminated composite beams with functionally graded fiber orientation angles", *Polymers and Polymer Composites*, 28, 7, 513-520.
- [3] Evran, S., (2020). "Investigation of effects of fiber orientation angles on deflection behavior of cantilever laminated composite square plates", *Politeknik Dergisi*, 23, 3, 633-639.
- [4] Evran, S., (2020). "Buckling temperature analysis of laminated composite plates with circular and semicircular holes", *Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A-Applied Sciences and Engineering*, 21, 1, 173-181.
- [5] Evran, S., (2019). "Twisting angle analysis of laminated composite plates using numerical and statistical methods", *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 23, 2, 466-471.
- [6] Evran, S., (2019). "Finite element analysis of thermal stress of laminated composite plates using taguchi method", *Manas Journal of Engineering*, 7, 2, 121-125.
- [7] Tang, Y. and Wang, X., (2011). "Buckling of symmetrically laminated rectangular plates under parabolic edge compressions", *International Journal of Mechanical Sciences*, 53, 2, 91-97.
- [8] Özben, T., (2009). "Analysis of critical buckling load of laminated composites plate with different boundary conditions using fem and analytical methods", *Computational Materials Science*, 45, 4, 1006-1015.
- [9] Pekbey, Y. and Sayman, O., (2006). "A numerical and experimental investigation of critical buckling load of rectangular laminated composite plates with strip delamination", *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 25, 7, 685-697.
- [10] Arman, Y., Zor, M. and Aksoy, S., (2006). "Determination of critical delamination diameter of laminated composite plates under buckling loads", *Composites Science and Technology*, 66, 15, 2945-2953.
- [11] Lee, S.-Y. and Park, D.-Y., (2007). "Buckling analysis of laminated composite plates containing delaminations using the enhanced assumed strain solid element", *International Journal of Solids and Structures*, 44, 24, 8006-8027.
- [12] Al Qablan, H., Katkhuda, H. and Dwairi, H., (2009). "Assessment of the buckling behavior of square composite plates with circular cutout subjected to in-plane shear", *Jordan Journal of Civil Engineering*, 3, 184-195.
- [13] C W, Y., Chai, G. B. and Parlapalli, M. S. R., (2008). "Effect of flexural stiffness estimates on the buckling load of delaminated composite beams", *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part L: Journal of Materials: Design and Applications*, 222, 2, 91-102.
- [14] Heidari-Rarani, M., Khalkhali-Sharifi, S. S. and Shokrieh, M. M., (2014). "Effect of ply stacking sequence on buckling behavior of e-glass/epoxy laminated composites", *Computational Materials Science*, 89, 89-96.
- [15] Jeyaprakash, P., Prabhakaran, V. and Devaraju, A., (2018). "Experimental and numerical analysis of carbon epoxy fibre composite under buckling load", *Materials Today: Proceedings*, 5, 6, Part 2, 14526-14530.
- [16] Erdem, S., Kaman, M. O. and Gur, M., (2019). "Post-buckling behavior of carbon fiber epoxy composite plates", *Journal of Mechanical Science and Technology*, 33, 4, 1723-1730.
- [17] Guo, S., Li, D., Zhang, X. and Xiang, J., (2014). "Buckling and post-buckling of a composite c-section with cutout and flange reinforcement", *Composites Part B: Engineering*, 60, 119-124.
- [18] Sudhirsastrey, Y. B., Budarapu, P. R., Madhavi, N. and Krishna, Y., (2015). "Buckling analysis of thin wall stiffened composite panels", *Computational Materials Science*, 96, 459-471.
- [19] Karakaya, Ş. and Soykasap, Ö., (2011). "Natural frequency and buckling optimization of laminated hybrid composite plates using genetic algorithm and simulated annealing", *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 43, 1, 61-72.
- [20] Walker, M. and Smith, R. E., (2003). "A technique for the multiobjective optimisation of laminated composite structures using genetic algorithms and finite element analysis", *Composite Structures*, 62, 1, 123-128.
- [21] Park, J. H., Hwang, J. H., Lee, C. S. and Hwang, W., (2001). "Stacking sequence design of composite laminates for maximum strength using genetic algorithms", *Composite Structures*, 52, 2, 217-231.
- [22] Riche, R. L. and Haftka, R. T., (1993). "Optimization of laminate stacking sequence for buckling load maximization by genetic algorithm", *AIAA Journal*, 31, 5, 951-956.
- [23] Topal, U. and Uzman, Ü., (2007). "Optimum design of laminated composite plates to maximize buckling load using mfd method", *Thin-Walled Structures*, 45, 7, 660-669.
- [24] Topal, U. and Uzman, Ü., (2009). "Effects of nonuniform boundary conditions on the buckling load optimization of laminated composite plates", *Materials & Design*, 30, 3, 710-717.

- [25] Yalçın, B. and Ergene, B., (2018). "Analyzing the effect of crack in different hybrid composite materials on mechanical behaviors", Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 24, 4, 616-625.
- [26] Ross, P. J. (1996). Taguchi techniques for quality engineering. McGraw-Hill International Editions, 2nd Edition, New York, USA.
- [27] ANSYS Help, Version 13. (ANSYS Inc, Canonsburg, PA, USA).
- [28] Akbulut, M., Sarac, A. and Ertas, A.H., (2020). "An investigation of non-linear optimization methods on composite structures under vibration and buckling loads", Advances in Computational Design, 5, 3, 209-231.

Data Mining based Inferences and Fuzzy based Rules about Software Development

Mustafa Batar^{1*} , Kökten Ulaş Birant² 

¹Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Computer Engineering, Burdur, Turkey

²Dokuz Eylül University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, İzmir, Turkey

*mbatar@mehmetakif.edu.tr

Abstract

Up to now, several criteria (software parameters) have been determined in order to measure and evaluate software development projects: Productivity, engagement, attention to quality, code base knowledge and management, adherence to coding guidelines and techniques, learning and skills, personal responsibility and etc. However, there isn't any universally accepted criteria or a methodology to measure and evaluate software development projects. In this context, the common criteria set about measurement and evaluation of software development projects has been tried to be created in this study. In addition, some information has been taken from 105 software experts with 55 different software companies so as to evaluate the use of the common criteria in real work life. Accordingly, a measurement and evaluation criteria set (software parameters) about the software development projects has been formed based on the data mining algorithm – “Association Rule Mining Apriori Algorithm” – with its 12 inferences. By the contribution of these data, the designed and developed software parameters have had more than 75 percent accuracy rate in the data mining algorithm. Finally, 8 important fuzzy-based rules about these 12 inferences have been formed and generated in this work.

Keywords: Software engineering, software development, software parameters, software rules, data mining, Apriori algorithm, fuzzy logic.

Yazılım Geliştirme ile İlgili Veri Madenciliğine Dayalı Çıkarımlar ve Bulanık Mantığa Dayalı Kurallar

Özet

Yazılım projelerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesine yönelik bugüne kadar çeşitli kriterler ve parametreler belirlenmiştir: Verimlilik, katılım, kaliteye dikkat, kod tabanlı bilgi ve yönetim, kodlama ile ilgili yönerge ve tekniklerine uyum, öğrenme ve beceriler, kişisel sorumluluk vb. Bununla birlikte, yazılım geliştirme projelerini ölçmek ve değerlendirmek için evrensel olarak kabul görmüş herhangi bir yöntem ya da kriter maalesef ki yoktur. Bu bağlamda, bu çalışma kapsamında, yazılım geliştirme projelerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi ile ilgili ortak kriterler ortaya konmaya çalışılmıştır. Ayrıca, bu ortak kriterlerin gerçek iş hayatında kullanımını değerlendirmek amacıyla da 55 farklı yazılım şirketinde çalışan 105 yazılım uzmanından) konu ile ilgili çeşitli bilgiler elde edilmiştir. Bu doğrultuda, veri madenciliği algoritması – “Association Rule Mining Apriori Algorithm” – kullanılarak 12 tane çıkarım yapılmış ve bunun neticesinde, yazılım geliştirme projeleri ile ilgili bir ölçme ve değerlendirme yazılım parametre seti oluşturulmuştur. Bu elde edilen verilerin doğrultusunda tasarlanan ve geliştirilen yazılım parametreleri, ortaya konan veri madenciliği algoritması çerçevesinde yüzde 75'in üzerinde yüksek bir doğruluk oranına sahip olmuştur. Bununla birlikte, yazılım geliştirme üzerine elde edilen 12 çıkarımla ilgili bulanık mantığa dayalı 8 tane hayati öneme sahip kural oluşturulup çalışmada ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yazılım mühendisliği, yazılım geliştirme, yazılım parametreleri, yazılım kuralları, veri madenciliği, Apriori algoritması, bulanık mantık.

1. INTRODUCTION

Measurement is the task of numerals to questions or occasions as indicated by some standards. Numerals are the marks which have no inalienable significance, such as postal districts and car tags. Numbers are the numeric which have quantitative importance and could be investigated, such as weight and height. The guidelines for allotting marks to properties of variables are the most critical segments of estimation, as the result of the fact that the consequence of poor principles is futile results. Ideas frequently could not be estimated straightforwardly, so what are generally estimated are markers of builds; for example, speed, rationale, verbal aptitude and so on [1].

Evaluation is the deliberate (methodical) gathering of data about the attributes, exercises and results of administrations or projects to evaluate the degree to which targets have been attained to, recognize required changes and/or settle on choices about future programming [2].

Measurement and evaluation of software development projects is a seriously critical task. Software projects often have objectives which are about maintainability, reliability, efficiency, security, flexibility, testability and etc. Unfortunately, it is often unclear which software developer deals with which part of a software project and how their change affects achievement of those goals. There are three main reasons of this unclear situation: Firstly, each part of software creation is unique. There is no compelling reason to assemble two times the same parts of software as it might be duplicated by copying it. This makes it truly difficult to make a formal and thorough correlation between two parts of software. Secondly, the current technology is something that changes at a truly fast phase. So, each time a methodology in respect to a certain wave of technology is dependable enough, it is for the most part as of recently old. Thirdly, there is a gigantic zone for innovativeness in discovering the diverse answers for a unique issue. Thus, measuring the effect in terms of “lines of code”, for instance, is measuring the size of the solution, not the issue. With this work, some relationships between measurable development criteria and objectives are tried to be defined and some evaluation techniques tried to be defined for better estimation in very early times of software development.

2. RELATED WORKS

Gallivan (1998) has showed the relationship between job and profession about measurement and evaluation of software development process in his study. He has indicated several special points in this relationship, such as job satisfaction and difficulty, actual performance, technical knowledge about job, analytical thinking skill, verbal skill, working habits, being open to new ideas and creativity, and etc. [3].

Sawyer and Guinan (1998) have showed several points about working as a team in software development for measurement and evaluation of software development process in their study. Those points are about team support, team loyalty, team vision, team personality, team meeting, team members and team leader. In addition, they have tried to find the answers to some questions about software development. Those questions are about software development method, code storage, code library, working time and documentation about development [4].

Hall, Wilson, Rainer and Jagielska (2007) have tried to find the answers to several questions about several topics for measurement and evaluation of software development process in their study. Those topics are about software team, software project, job life, working and personality [5].

Baggelaar (2008) has showed importance of several properties in software development process. Those properties are abstraction, testability, coupling, modularity, layouts, test coverage, error handling and exception handling. In addition, he has tried to find the effect of code and comment lines to measurement and evaluation of software development [6].

Lee, Joshi and Kim (2008) have analyzed measurement and evaluation of software development process with regards to personality and working habits in the work [7].

Thing (2008) has dwelt on several topics about personality, working style, work load and software development process in measurement and evaluation of software development [8].

Zhang, Wang and Xiao (2008) have asked several questions and have got some answers to them about measurement and evaluation of software development process in their study. Those questions are about code lines, comment lines, class number, instance number, class relationship, method number, inheritance depth degree and difficulty of software development [9].

Calikli and Bener (2010) have indicated general information about measurement and evaluation of software development process in their study. They have showed the effect of education level of software developers and some points in software development area, such as satisfaction degree, trust degree, working experience and etc. to software development [10].

Chilton, Hardgrave and Armstrong (2010) have showed several points in measurement and evaluation of software development process in their workday. Those points are about working life, working habits, personality, age and gender [11].

Ramler, Klammer and Natschläger (2010) have tried to find the answers to some questions about software quality in measurement and evaluation of software development process in their study [12].

Wang and Zhang (2010) have showed importance of several topics in measurement and evaluation of software development process in their work. Those topics are about working life, working experience, work load, education level and gender [13].

Balijepally, Nerur and Mahapatra (2012) have tried to find the answers to several questions about pair programming, difficulty of software development, software quality and personality for measurement and evaluation of software development in their study [14].

Duarte, Faria and Raza (2012) have tried to find the effect of some issues to measurement and evaluation of software development process in their study. Those issues are about timing error, size error, segmentation error, missing parts, irrelevant parts, error number and unit test number [15].

Ehrlich and Cataldo (2012) have dwelt on some points in software project development process for measurement and evaluation of software development in their work. Those points are about team leader, team coordination, company management, company employees and private life [16].

Kelly and Haddad (2012) have tried to find the effect of “error” to measurement and evaluation of software development process in their study [17].

Schröter, Aranda, Damian and Kwan (2012) have tried to find the answers to several questions for measurement and evaluation of software development process in their study. Those questions are about build number, code changes, method number, fixed code parts, working life, working quality, team leader, software project documentation and software development tool [18].

Westermann (2012) has indicated importance of some points in software development process in his study. He has searched the effect of reliable code writing, software project outcomes and working style to measurement and evaluation of software development [19].

Calikli and Bener (2013) have showed some important points in measurement and evaluation of software development process in their study. Those points are about software project development schedule and software development team psychology [20].

Kumar, Santhosh, Kalaikumaran, and Karthik (2013) have examined data mining and customer relationship management models and tried to propose a new data mining model for customer relationship management.

Customer loyalty and profit increase have been observed in the companies where the method has been applied [21].

In their study, Keleş and Kaya (2014) have applied the Apriori algorithm to find out how factors such as the number of workers in the group, age and experience levels of masonry workers affect the daily productivity value. They have aimed to find rules aimed at ensuring that productivity could be increased [22].

Akhondzadeh-Noughabi, Amin-Naseri, Albadvi, and Saeedi (2016) have proposed a new approach for personnel evaluation using data mining techniques. Complaints and satisfactions of citizens about personnel and jobs in different units of a company have been collected. Performance evaluations of the units have been made using the Apriori algorithm. In this way, it has been aimed to increase satisfaction by making necessary improvements [23].

Xi, J., Zhao, Z., Li, W., and Wang, Q. (2016) have listed the causes of traffic accidents according to their relative importance and determined the most effective ones with the AHP method. They then have used the Apriori algorithm to analyze the extent or impact level of the accident [24].

Chiang (2018) have suggested a data mining application to be used in marketing strategy for companies selling online. In the study, a priori and fuzzy clustering algorithms have been used to analyze the customers [25].

Taş (2018) and Gedleç (2019) have examined association analysis rules and association relations in sales data. In the study of Ayberkin and Özen in 2019, a software that analyzes data has been designed using the Apriori algorithm [26,27].

A similar study has been conducted by Rokhayati, Rusdi, Kurniawan, Janah, and Irawan (2019). In the study, the factors affecting the absenteeism of students have been investigated by using AHP and data mining. With the AHP method, the five criteria that most affect absenteeism have been found. Afterwards, their relations with each other were examined using the Apriori algorithm [28].

In 2019, data mining has been carried out on energy consumption data with different algorithms by Güler. Also, Gürçanok (2020) have examined the trends and habits of consumers through e-commerce sales data, with data mining [29,30].

3. ASSOCIATION RULE MINING APRIORI ALGORITHM

“Association Rule Mining Apriori Algorithm” [31] is a calculation for incessant thing set mining and affiliation principle learning over value-based databases. It continues by distinguishing the continuous individual things in the database and stretching out them to larger and larger item sets in the length which those thing sets show up adequately frequently in the database. The successive thing sets dictated by Apriori [32] can be utilized to focus affiliation rules which highlight general patterns in the database: this has applications in spaces, for example, market basket analysis.

Data mining methods that analyze the co-occurrence of events are called association rule methods. The association rule is an approach that supports the analysis of past data and the determination of association behaviors in these data and future studies. Market basket analysis can be given as an example of association rule application. The purpose of the association rule is to find the association relationship between the products purchased by the customers during shopping, and to determine the purchasing habits of the customers in line with this relationship data. Sellers have effective and profitable marketing and sales opportunities with the contribution of these discovered association relations and habits. For example, in 70% of customers' purchases of milk and cheese from a grocery store, yoghurt was purchased along with these products. In order to detect this kind of association pattern, the products included in the pattern has to be included in more than one purchasing activity [33].

In addition to these, Apriori (meaning “prior”) obtains the information from the previous step. Based on this algorithm, it has an iterative (repetitive) nature and is used to discover frequent item sets in databases containing motion information. Association rule mining has two stages: finding all the frequent items and generating strong association rules from these frequent items. The Apriori Algorithm, which is used for the first stage of the association rule, is the most popular and classical algorithm used in frequent items mining. In this algorithm, features and data are evaluated with “boolean” association rules [34].

The Apriori algorithm was developed by Agrawal and Srikant in 1994 for association rules. Association rules are rules that check whether an element exists. This algorithm has been designed for databases containing transactions and timestamps. Every transaction is a set of items [35]. In the Apriori algorithm, the relationship between items is calculated for certain support and confidence values. As these two values increase, the importance of the combination of the two elements also increases. Confidence is the value that indicates how likely one item will be with another item. The support value is the value that shows how often two items are found together [36]. The support value is very important for the interpretation of the resulting rules. Rules with very low support values were most likely created by chance. In addition, infrequent rules will not matter to the decision maker. If the support value is too high, it is possible to miss the rules that may be important for the decision maker [37].

The purpose of the algorithm is to find the over-repeated associations by scanning the database of transactions with different associations. The algorithm consists of two operations, pruning and merging. During the process, the database is scanned many times. The K item set is used to find the frequently repeated K+1 item set in the algorithm. The first scan finds single-element item sets and their support values. How often each item is used determines the support value of that item. Item sets with more elements are created with items that provide the specified support value. This process continues until the item set that provides the desired support value is not found [38].

Furthermore, to understand better this method, the pseudocode of Apriori algorithm has been shown in Figure 1 and its working mentality has been demonstrated in Figure 2 in the following.

```

procedure Apriori (T, minSupport) { //T is the database and minSupport is
                                //the minimum support
    L1 = {frequent items};
    for (k=2; Lk-1!=∅; k++) {
        Ck = candidates generated from Lk-1
        //that is cartesian product Lk-1 x Lk-1 and eliminating any k-1
        //size itemset that is not frequent
        for each transaction t in database do{
            #increment the count of all candidates in Ck that are
            #contained in t
            Lk = candidates in Ck with minSupport
        }//end for each
    }//end for
    Return ∪kLk;
}

```

Figure 1. Pseudocode of Apriori algorithm [39].

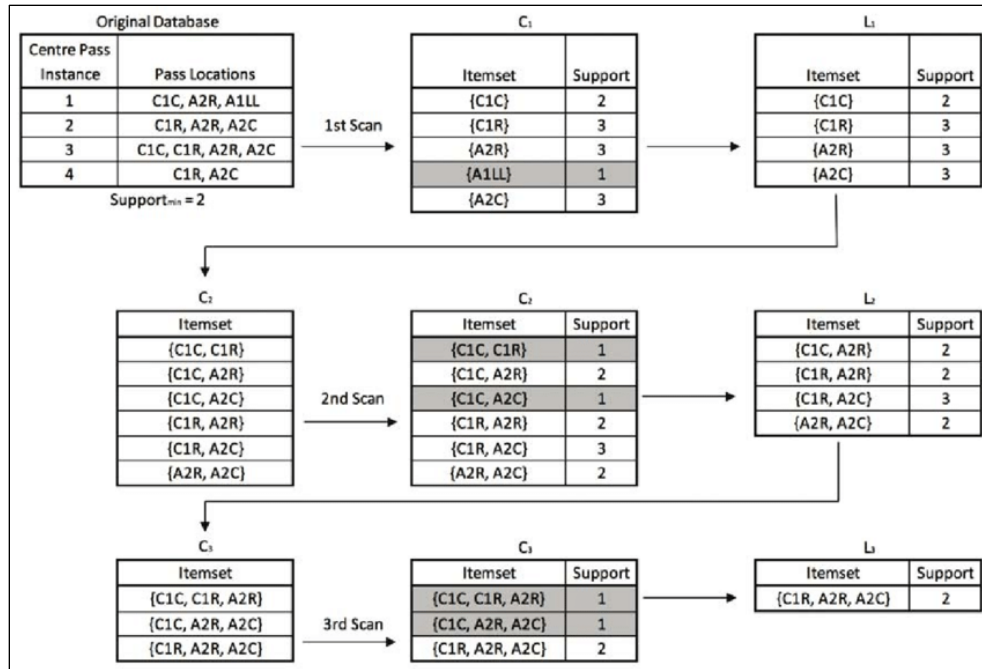


Figure 2. Process of Apriori algorithm [40].

4. DATA MINING BASED DISCOVERED INFERENCE

Apriori Algorithm is one of the best-known association rule mining algorithms. It uses prior knowledge of frequent itemset properties and runs an iterative approach called level-wise search. That is, k -itemsets are used to explore $(k + 1)$ -itemsets (they are called candidate itemsets before testing them against the database) by eliminating the candidates that do not satisfy the minimum support. This process terminates when no frequent or candidate set can be generated. The efficiency of the level-wise generation of frequent itemsets is improved by the Apriori Property: “All nonempty subsets of a frequent itemset must be frequent”. By means of this property, many unnecessary candidate generation and support counting are eliminated [41].

Based on the “Association Rule Mining Apriori Algorithm”, 12 inferences with 5 parameters in each have been extracted and leapt to the eye about measurement and evaluation of software development while designing and implementing software, by the help of the real software experts, who have given information about the study and research. Also, the number of these developers and experts has been 105, and they have worked at 55 different countries about software development. Among these companies, whereas there have been big institutive global companies such as Ericsson, Huawei Technologies, Siemens, Alcatel Lucent and OBSS, on the other hand, there have been startup companies where about 5 people work such as Metadata, Semafor and Mavikent Bilisim. Therefore, it can be said that the software experts, who have given information about the software parameters, have been from wide range of the companies in software industry. In addition, those extracted twelve inferences have been determined and identified based on the software experts’ opinions, and these opinions have been given in the same direction (in parallel) by at least 75 percent accuracy rate with the contribution of the implementation and application of “Association Rule Mining Apriori Algorithm”.

In the following, the file format of the taken software experts’ thoughts have been given in Figure 3, and the operation of these in the application of “Apriori Algorithm” have been shown in Figure 4.

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Yardım	B1.S10	B2.S10	B3.S7	B4.S10	B5.S5	B6.S10	B7.S5	B8.S
A1.S3	A2.S1	A3.S1										
A1.S1	A2.S1	A3.S1	Question	Answer								
A1.S1	A2.S2	A3.S1										
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S2	B2.S7	B3.S3	B4.S2	B5.S2	B6.S2	B7.S1	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S2	B2.S4	B3.S3	B4.S2	B5.S2	B6.S3	B7.S2	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S7	B2.S9	B3.S2	B4.S2	B5.S4	B6.S9	B7.S3	B8.S		
A1.S2	A2.S1	A3.S1	B1.S8	B2.S3	B3.S1	B4.S4	B5.S3	B6.S9	B7.S3	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S8	B2.S10	B3.S9	B4.S4	B5.S4	B6.S9	B7.S3	B8.S		
A1.S3	A2.S1	A3.S1	B1.S7	B2.S4	B3.S3	B4.S5	B5.S3	B6.S7	B7.S8	B8.S		
A1.S2	A2.S2	A3.S1	B1.S7	B2.S10	B3.S3	B4.S3	B5.S3	B6.S5	B7.S1	B8.S		
A1.S2	A2.S2	A3.S2	B1.S4	B2.S7	B3.S7	B4.S6	B5.S7	B6.S7	B7.S2	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S4	B2.S9	B3.S10	B4.S5	B5.S4	B6.S8	B7.S6	B8.S		
A1.S2	A2.S1	A3.S1	B1.S6	B2.S10	B3.S4	B4.S6	B5.S4	B6.S7	B7.S3	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S5	B2.S10	B3.S3	B4.S2	B5.S3	B6.S4	B7.S3	B8.S		
A1.S2	A2.S1	A3.S2	B1.S4	B2.S4	B3.S9	B4.S4	B5.S3	B6.S1	B7.S3	B8.S		
A1.S2	A2.S1	A3.S1	B1.S5	B2.S7	B3.S3	B4.S4	B5.S2	B6.S2	B7.S2	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S4	B2.S7	B3.S3	B4.S6	B5.S2	B6.S3	B7.S2	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S4	B2.S4	B3.S3	B4.S5	B5.S3	B6.S4	B7.S2	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S6	B2.S10	B3.S7	B4.S8	B5.S2	B6.S3	B7.S2	B8.S		
A1.S2	A2.S1	A3.S1	B1.S7	B2.S9	B3.S7	B4.S10	B5.S4	B6.S8	B7.S4	B8.S		
A1.S2	A2.S1	A3.S1	B1.S3	B2.S10	B3.S7	B4.S7	B5.S3	B6.S4	B7.S3	B8.S		
A1.S2	A2.S1	A3.S1	B1.S3	B2.S10	B3.S9	B4.S8	B5.S2	B6.S4	B7.S2	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S2	B2.S5	B3.S3	B4.S3	B5.S3	B6.S2	B7.S2	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S8	B2.S3	B3.S3	B4.S8	B5.S3	B6.S7	B7.S3	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S3	B2.S8	B3.S3	B4.S4	B5.S3	B6.S3	B7.S3	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S3	B2.S4	B3.S2	B4.S1	B5.S1	B6.S2	B7.S1	B8.S		
A1.S2	A2.S1	A3.S1	B1.S5	B2.S2	B3.S2	B4.S6	B5.S3	B6.S2	B7.S2	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S4	B2.S3	B3.S3	B4.S3	B5.S3	B6.S6	B7.S3	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S8	B2.S3	B3.S3	B4.S7	B5.S5	B6.S8	B7.S5	B8.S		
A1.S1	A2.S1	A3.S1	B1.S8	B2.S9	B3.S4	B4.S6	B5.S4	B6.S8	B7.S4	B8.S		

Figure 3. The file format of the taken software experts' thoughts.

```

C:\Users\PC\Desktop\mustafa_tez\mustafa_apriori.exe anketKategori.txt -s75 -f
apriori.exe - find Application Name File 75 %
version 6.17 (2015)
reading anketKategori.txt ... [334 item(s), 82 transaction(s)] done [0.00s].
building transaction tree ... [171 node(s)] done [0.00s].
checking subsets of size 1 2 3 4 5 6 done [0.00s].
writing <stdout> ... [1267 set(s)] done [0.00s].
E4.S1 (75.6098)
C2.S1 D12.S1 (75.6098)
C2.S1 (75.6098)
E3.S2 (76.8293)
C10.2.S1 (76.8293)
C10.2.S1 C6.S1 D12.S1 (75.6098)
C10.2.S1 C6.S1 (75.6098)
C10.2.S1 D12.S1 (75.6098)
C7.S1 (78.0488)
C7.S1 D15.S1 (75.6098)
C7.S1 A3.S1 (75.6098)
C7.S1 D12.S1 (75.6098)
C10.1.S1 (80.4878)
C10.1.S1 C10.5.S1 (78.0488)
C10.1.S1 C10.5.S1 C6.S1 D12.S1 (76.8293)
    
```

Figure 4. Apriori algorithm with at least 75 percent accuracy rate.

The discovered inferences, which have been obtained based on data mining, have been listed and explained in the following subtitles – 4.1 to 4.12.

4.1 Inference-1

- Do you reuse any code parts while writing (developing) a program?
- Do you use any software development method while writing (developing) a program?
- Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?
- Do you use the property of Error Handling while writing (developing) a program?
- Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?

About 80 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have answered these questions in the same direction – YES.

4.2 Inference-2

- *Do you reuse any code parts while writing (developing) a program?*
- *Do you use any software development method while writing (developing) a program?*
- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Modularity while writing (developing) a program?*
- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*

About 82 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have replied these questions in the same direction – *YES*.

4.3 Inference-3

- *Do you use any software development method while writing (developing) a program?*
- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Modularity while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Error Handling while writing (developing) a program?*
- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*

About 83 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have answered these questions in the same direction – *YES*.

4.4 Inference-4

- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Reusability while writing (developing) a program?*
- *Do you think that you have written (developed) a practical (usable&understandable) program?*
- *As company, do you guarantee the quality of your software?*
- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*

About 81 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have replied these questions in the same direction – *YES*.

4.5 Inference-5

- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Error Handling while writing (developing) a program?*
- *Do you think that you have written (developed) a practical (usable&understandable) program?*
- *As company, do you guarantee the quality of your software?*

- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*

About 81 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have answered these questions in the same direction – *YES*.

4.6 Inference-6

- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Modularity while writing (developing) a program?*
- *Do you think that you have written (developed) a practical (usable&understandable) program?*
- *As company, do you guarantee the quality of your software?*
- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*

About 82 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have replied these questions in the same direction – *YES*.

4.7 Inference-7

- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Modularity while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Reusability while writing (developing) a program?*
- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*
- *Do you depend on the mechanism in the software development process?*

About 84 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have answered these questions in the same direction – *YES*.

4.8 Inference-8

- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Error Handling while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Reusability while writing (developing) a program?*
- *Do you think that you have written (developed) a practical (usable&understandable) program?*
- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*

About 83 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have replied these questions in the same direction – *YES*.

4.9 Inference-9

- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Modularity while writing (developing) a program?*

- *Do you use the property of Reusability while writing (developing) a program?*
- *Do you think that you have written (developed) a practical (usable&understandable) program?*
- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*

About 85 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have answered these questions in the same direction – *YES*.

4.10 Inference-10

- *Do you reuse any code parts while writing (developing) a program?*
- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Modularity while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Reusability while writing (developing) a program?*
- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*

About 86 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have replied these questions in the same direction – *YES*.

4.11 Inference-11

- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Modularity while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Error Handling while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Reusability while writing (developing) a program?*
- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*

About 82 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have answered these questions in the same direction – *YES*.

4.12 Inference-12

- *Do you use any methods or models which have been determined before while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Modularity while writing (developing) a program?*
- *Do you use the property of Error Handling while writing (developing) a program?*
- *Do you think that you have written (developed) a practical (usable&understandable) program?*
- *Individually, do you pay attention to the quality in the program which you have written (developed)?*

About 89 of the software experts (105), who have given their opinions about the software parameters, have replied these questions in the same direction – *YES*.

5. FUZZY LOGIC

Fuzzy logic is communicated as a methodology dependent on “levels of exactness” instead of the “valid or bogus” state which is the Boolean methodology. During the 1960s, Dr. Lotfi Zadeh applied the fuzzy logic mentality firstly in his classes in the University of California at Berkeley. Fluffy hypothesis can be utilized as a method for speaking to dubiousness in building nonlinear associations with heuristic data. The hypothesis essentially works with the rationale that rather than an articulation being 0 or 1, its worth may have an esteem that can differ in this range [42].

Fuzzy approach aims to display the overall working rationale of the PC such that individuals can comprehend inside the system of rationale. A PC’s rationale block gets outright contribution from the client and gives the yields TRUE or FALSE, which is equal to YES or NO outcomes. As per the fluffy rationale approach, the client’s choice expresses that there are various conceivable outcomes between YES and NO. Utilizing fluffy rationale strategy, it is meant to demonstrate unsure circumstances and inappropriately characterized or complex frameworks [43].

The engineering of fuzzy logic framework comprises three principle parts as shown in the accompanying figure. Initially, it changes over framework contributions to the fluffy sets gave in the fuzzification module. The standards area depicts the circumstances that decide the yields of the framework’s fluffy rationale approach. These circumstances show which articulation should be yielded against the changing info articulations of the framework [44]. At long last, the defuzzification module changes over the fluffy set produced by the surmising motor to net worth. Along these lines, the framework yields give diverse yield esteems as indicated by the guidelines in Figure 5 [45].

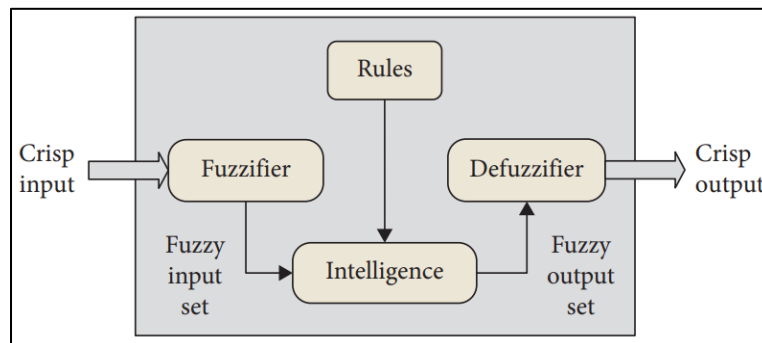


Figure 5. Fuzzy logic process [45].

6. FUZZY-BASED RULES

Based on the explanations in Section 4 (Data Mining Based Discovered Inferences), eight criteria – fuzzy-based rules – have been found to be “key value” and have been listed in the following.

Using any pre-determined model or method in the software development process: While developing a software project, it means benefiting from the models and methods that have been previously used, tested and operated by some employees.

Dependent on any software development method in the software development process: When developing the software project, the software development process under the main headings such as “heavy-weight” or “lightweight” is put into a specific plan. The use of one or more of the methods means benefiting from these.

Whether developed software makes it easier for customers to do their job or not: A software is developed based on the customer's wishes and requirements is expected to facilitate the solution of the existing problem. If it makes the work done earlier more complicated, the effectiveness of the software produced has to be questioned.

In the software development process, to do the process of erroneous, exceptional situation: software development process in the coding part of the program when writing, "error handling" and "exception handling" are expected to be used; otherwise, the developed program will produce erroneous results in the test section, meaning that it will collapse, and as a result, the desired product will not emerge.

Whether the developed software has good quality or not: The essential aim of the software development process is producing and developing qualified software, which is the sine qua non of the "Software Engineering".

In the software development process, pay attention to the concept of "re-usability": As in other projects rather than software, it is inevitable to use some modules, some functions or some structures previously created in developing software projects, and this is in fact a facilitating feature. The higher the concept of re-usability, the lower the cost of the software development process.

To develop reliable/secure code while developing software: In order to ensure reliable operation of the product that will be produced during the software development process and to give the desired results, it requires the reliable writing of the program of the software, which means that the codes of the program are developed according to the reliable structure.

Whether the developed software is understandable and usable or not: The developed software must be able to be used in a practical way by customers to produce solutions to existing problems; for this to be effective, the product in hand is understandable and therefore should be usable.

7. CONCLUSION

Based on the explanations in Section 4 (Data Mining Based Discovered Inferences), software development methodology brings with software quality, reusability, usability and understandability and modularity together. The attribute of "software quality" is the main aim of a software development method in software quality standards. In addition, the attribute of "reusability" provides software developers to use some methods and models or some classes and packages or some code parts which have been designed and developed before while developing software, shortly, it provides to re-use. Moreover, the attributes of "usability" and "understandability" go in the same direction together since if one uses software, this means s/he can understand that or if one understands software, this means s/he can use that. Also, these attributes show up in the result that a software development method requires systematic work based on a schedule. As a result of this, systematic work creates more usable and more understandable software by software developers. Furthermore, the attribute of "modularity" helps software developers to design and develop software class by class or package by package or module by module or part by part.

Based on the explanations in section 6 (fuzzy-based rules), the criteria for the measurement and evaluation of the software development, which are the result of our research and which are taken into consideration as a result of the analyses: software development process by relying on a specific method, taking care of reliable code writing, using tried and tested models, developing a product that is understandable and error-free by focusing on problem solving and, of course, as a result of which is an important point for software engineering. So, it shows that the gold of the concept has to be filled with concrete data.

In this context, the first goal in this study is to find the relationships between the software parameters, and software engineering terms and topics which affect objective criteria that are given value much more by solving these relationships. Afterwards, the ex-post aim is to minimize some bad things in software crisis in software engineering, such as, over-budget, over-time, low quality, not meeting requirements,

inefficiency according to the results of the survey. If the designed and developed software parameters, which have been formed and specified based on the software experts' thoughts, achieve the goal, maybe, the term software crisis in software engineering will disappear in the near future.

“You can't manage the process which you don't measure.” This statement which is claimed to be said by Peter DRUCKER shows that the software development process has to be measured by clear and objective variables. Thus, some reliable data are specified and determined so that this software development process can be managed by benefiting from these trustworthy results. According to the results of these designed and developed software parameters, manpower, what is the main resource of software development process will have been used more effectively. And then, the benefits of the “Software Engineering” may be seen more tangible. As a natural result of this, software crisis may die out.

ACKNOWLEDGEMENT

The ethics committee approval form and document is not required for this study, and the authors declare that there is no conflict of interest.

REFERENCES

- [1] Ellis, B. (1968). *Basic concepts of measurement*. Cambridge, United Kingdom: Cambridge University Press.
- [2] Pawson, R., & Tilley, N. (1994). What works in evaluation research? *The British Journal of Criminology*, 34(3), 291-306.
- [3] Gallivan, M. J. (1998). The influence of system developers' creative style on their attitudes toward and assimilation of a software process innovation. Thirty-First Hawaii International Conference on System Sciences, 6-9 January, Kohala Coast, 435-444.
- [4] Sawyer, S., & Guinan, P. J. (1998). Software development: Processes and performance. *IBM Systems Journal*, 37(4), 552-569.
- [5] Hall, T., Wilson, D., Rainer, A., & Jagielska, D. (2007). The neglected technical skill? ACM SIGMIS CPR Conference on Computer Personnel Research: The Global Information Technology Workforce, 19-21 April, St. Louis Missouri, 196-202.
- [6] Baggelaar, H. (2008). *Evaluating programmer performance visualizing the impact of programmers on project goals*. M.Sc Thesis, University of Amsterdam, Amsterdam.
- [7] Lee, K., Joshi, K., & Kim, Y. (2008). Person-job fit as a moderator of the relationship between emotional intelligence and job performance. ACM SIGMIS CPR Conference on Computer Personnel Doctoral Consortium and Research, 3-5 April, Charlottesville VA, 70-75.
- [8] Thing, C. (2008). The application of the function point analysis in software developers' performance evaluation. 4th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 12-17 October, China, 1-4.
- [9] Zhang, S., Wang, Y., & Xiao, J. (2008). Mining individual performance indicators in collaborative development using software repositories. 15th Asia-Pacific Software Engineering Conference, 3-5 December, China, 247-254.

- [10] Calikli, G., & Bener, A. (2010). Empirical analyses of the factors affecting confirmation bias and the effects of confirmation bias on software developer/tester performance. 6th International Conference on Predictive Models in Software Engineering, 12-13 September, Romania, no. 10.
- [11] Chilton, M. A., Hardgrave, B. C., & Armstrong, D. J. (2010). Performance and strain levels of it workers engaged in rapidly changing environments: A person-job fit perspective. *ACM SIGMIS Database*, 41(1), 8-35.
- [12] Ramler, R., Klammer, C., & Natschläger, T. (2010). The usual suspects: A case study on delivered defects per developer. ACM-IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement, 16-17 September, Italy, no. 48.
- [13] Wang, Y., & Zhang, M. (2010). Penalty policies in professional software development practice: A multi-method field study. 32nd ACM/IEEE International Conference on Software Engineering, 1 May, Cape Town South Africa, 39-47.
- [14] Balijepally, V., Nerur, S., & Mahapatra, R. (2012). Effect of task mental models on software developer's performance: An experimental investigation. 45th Hawaii International Conference on System Science, 4-7 January, Hawaii, 5442-5451.
- [15] Duarte, C. B., Faria, J. P., & Raza, M. (2012). PSP PAIR: Automated personal software process performance analysis and improvement recommendation. Eighth International Conference on the Quality of Information and Communications Technology, 3-6 September, Portugal, 131-136.
- [16] Ehrlich, K., & Cataldo, M. (2012). All-for-one and one-for-all?: A multi-level analysis of communication patterns and individual performance in geographically distributed software development. ACM 2012 Conference on Computer Supported Cooperative Work, 11-15 February, Washington, 945-954.
- [17] Kelly, B., & Haddad, H. M. (2012). Metric techniques for maintenance programmers in a maintenance ticket environment. *Journal of Computing Sciences in Colleges*, 28(2), 170-178.
- [18] Schröter, A., Aranda, J., Damian, D., & Kwan, I. (2012). To talk or not to talk: Factors that influence communication around changesets. ACM 2012 Conference on Computer Supported Cooperative Work, 11-15 February, Washington, 1317-1326.
- [19] Westermann, D. (2012). A generic methodology to derive domain-specific performance feedback for developers. 34th International Conference on Software Engineering, 2-9 June, Zurich, 1527-1530.
- [20] Calikli, G., & Bener, A. (2013). An algorithmic approach to missing data problem in modeling human aspects in software development. 9th International Conference on Predictive Models in Software Engineering, 9 October, Baltimore Maryland, no. 10.
- [21] Kumar, S. B., Sivaparthipan, C. B., Kalaikumaran, T., & Karthik, S. (2013). A case study of customer relationship management using data mining techniques. *International Journal of Technological Exploration and Learning*, 2(6).
- [22] Keleş A. E., & Kaya M. (2014). Analysis of factors affecting efficiency in wall construction using Apriori data mining method. XVI. Academic Informatics Conference, Mersin.

- [23] Noughabi, E. A., Amin-Naseri, M. R., Albadvi, A., & Saeedi, M. (2016). Human resource performance evaluation from CRM perspective: a two-step association rule analysis. *International Journal of Business Performance Management*, 17(1), 89-102. Doi: 10.1504/IJBPM.2016.073340
- [24] Xi, J., Zhao, Z., Li, W. ve Wang, Q. (2016). A traffic accident causation analysis method based on AHP-Apriori. *Procedia Engineering*, 137, 680-687. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.01.305
- [25] Chiang, W.-Y. (2018). Applying data mining for online CRM marketing strategy: An empirical case of coffee shop industry in Taiwan. *British Food Journal*, 120(3), 665-675. Doi:10.1108/BFJ-02-2017-0075
- [26] Taş Y. (2018). *Association rules mining and an application*. M.Sc Thesis, Cumhuriyet University, Sivas.
- [27] Gedleç Ş. (2019). *Multidimensional association rules analysis and business application*. M.Sc Thesis, Marmara University, Istanbul.
- [28] Rokhayati, Y., Rusdi, U., Kurniawan, D., Janah, N., & Irawan, S. (2019). Analysis of SP students using AHP-Apriori combination. *Advances in Social Science, Education and Humanities Research*, 354, 186-191.
- [29] Güler E. R. (2019). *Data mining application on energy consumption data*. M.Sc Thesis, Gazi University, Ankara.
- [30] Gürçanok O. T. (2020). *A data science case study on e-commerce sales data*. M.Sc Thesis, Maltepe University, Istanbul.
- [31] Mining frequent itemsets - apriori algorithm. (n.d.). Retrieved August 21, 2021, from <http://software.ucv.ro/~cmihaescu/ro/teaching/AIR/docs/Lab8-Apriori.pdf>
- [32] Hegland, M. (2007). The Apriori algorithm – a tutorial. *Mathematics and Computation in Imaging Science and Information Processing*, 209-262.
- [33] Al-Maolegi, M., & Arkok, B. (2014). An improved Apriori algorithm for association rules. *International Journal on Natural Language Computing (IJNLC)*, 3(1), 21-29.
- [34] Borgelt C., & Kruse R. (2002) *Induction of association rules: Apriori implementation*. In: Härdle W., Rönz B. (eds) *Compstat. Physica, Heidelberg*. https://doi.org/10.1007/978-3-642-57489-4_59
- [35] Liu, H., & Wang, B. (2007). An association rule mining algorithm based on boolean matrix. *Data Science Journal*, 6(9), 559-565. Doi:10.2481/dsj.6.S559
- [36] Agrawal, R., & Srikant, R. (1994). Fast algorithms for mining association rules in large database. *Proceedings of the 20th VLDB conference*.
- [37] Tank, D. (2014). Improved Apriori algorithm for mining association rules. *International Journal on Natural Language Computing*, 3(1), 15-23. Doi:10.5815/ijitcs.2014.07.03
- [38] Larose, D. T., & Larose, C. D. (2004). *Discovering knowledge in data: an introduction to data mining*. New Jersey: A John Wiley & Sons.
- [39] Sun, D., Teng, S., Zhang, W., & Zhu, H. (2007). An algorithm to improve the effectiveness of Apriori. *6th IEEE International Conference on Cognitive Informatics*, 6-8 August, Lake Tahoe, 385-390.
- [40] Browne, P., Morgan, S., Bahnisch, J., & Robertson, S. (2019). Discovering patterns of play in netball with network motifs and association rules. *International Journal of Computer Science in Sport*, 18(1), 64-79. DOI:10.2478/ijcss-2019-0004

- [41] Han, J., & M. Kamber (2006). *Data Mining. Concepts and Techniques (2nd ed.)*. United States: Morgan Kaufmann Publishers.
- [42] Ross, T. J. (2016). *Fuzzy Logic with Engineering Applications (4th edition)*. USA: Wiley.
- [43] Carlsson, C., & Fuller, R. (2003). A fuzzy approach to real option valuation. *Fuzzy Sets and Systems*, 139(2) 297-312.
- [44] Karataş, F., Koyuncu, İ., Tuna, M., ve Alçın, M. (2020). Bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının fpga üzerinde gerçekleştirilmesi. *Bilgisayar Bilimleri ve Teknolojileri Dergisi*, 1(1), 1-9.
- [45] Shen, Q., & Chouchoulas, A. (2002). A rough-fuzzy approach for generating classification rules. *Pattern Recognition*, 35(11), 2425–2438.

Çelik Kiriş ve Kolon Plastik Mafsalsal Parametrelerinin ve Şekil Değişirme Sınır Değerlerinin Karşılaştırmalı İncelenmesi

Mustafa Berker ALICIOĞLU^{1*} 

¹Manisa Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, Yunusemre, Manisa, Türkiye.

*berker.alicioglu@gmail.com

Özet

Yapılardaki deprem hasarının tahmini, can ve mal kaybını önleme açısından oldukça önemlidir. Hasar tahmini, plastik mafsalsal parametrelerinin ve şekil değişirme sınır durumlarının gerçek yapı davranışını yansıtmaları oranında başarılı olmaktadır. Yapı tasarımında ve mevcut yapı değerlendirmesinde çeşitli standartlar ile plastik mafsalsal parametreleri ve şekil değişirme sınır değerleri belirlenmiştir. Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği (ASCE) bu alanda öncü olmuşlardır. Deprem yönetmeliklerimiz içerisinde ilk kez Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018' de (TBDY-2018) çelik yapı elemanları için şekil değişirme sınır değerlerine yer verilmiştir. Bu çalışma ile FEMA 356, ASCE 41-06, ASCE 41-13 standartlarında ve TBDY-2018' de yer alan çelik kiriş ve kolon için plastik mafsalsal parametreleri ve şekil değişirme sınır değerleri karşılaştırılmıştır. TBDY-2018 ile Amerikan standartları arasındaki ilişki ve TBDY-2018' in eksik yönleri belirlenmiştir. İki farklı nümerik analiz ile Amerikan standartlarının ve TBDY-2018' in belirlediği yapısal hasar düzeyleri arasındaki farklar ortaya konmuştur. FEMA 356 ve ASCE 41-06 standartları, ASCE 41-13 standardı ve TBDY-2018 dikkate alınarak yapılacak hasar tahminlerinde kolon ve kiriş elemanları için farklı hasar durumlarının tahmin edileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: çelik yapı, plastik mafsalsal, yapısal hasarı, şekil değişirme

Comparative Investigation of Plastic Hinge Parameters and Strain Limit States of Steel Beam and Column

Abstract

Estimation of earthquake damage on structures is quite important in terms of preventing loss of life and property. Damage estimation is successful at the rate that plastic hinge parameters and strain limit states reflect actual structure behavior. In building design and evaluation of the existing building, plastic hinge parameters and strain limit states have been determined with various standards. The Federal Emergency Management Agency (FEMA) and the American Association of Civil Engineers (ASCE) have been pioneers in this field. For the first time among our earthquake codes, Strain limit states are given for members of steel structures in the Turkish Seismic Code for Buildings 2018 (TSCB-2018). With this study, plastic hinge parameters and strain limit states of steel beam and column in FEMA 356, ASCE 41-

06, ASCE 41–13, and TSCB-2018 have been compared. The relationship between TBDY-2018 and American standards and the deficiencies of TBDY-2018 have been determined. The differences between the earthquake damage levels determined by the American standards and the TBDY-2018 have been revealed by two different numerical analyses. It has been determined that different limit states will be estimated for column and beam elements in the damage estimates to be made taking into account FEMA 356 and ASCE 41-06 standards, ASCE 41-13 standard and TBDY-2018.

Keywords: steel structure, plastic hinge, earthquake damage, strain

1. GİRİŞ

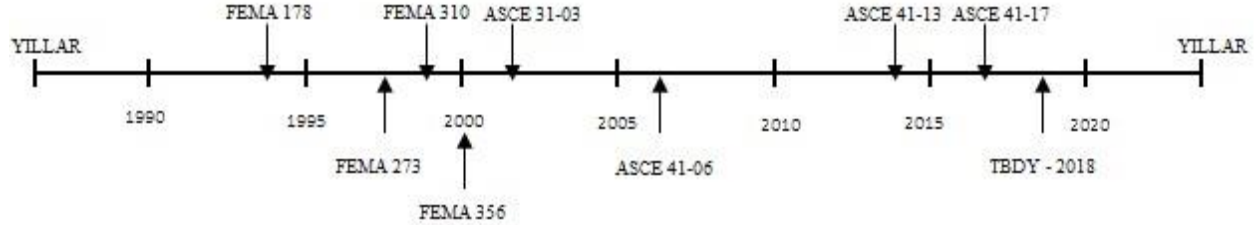
Yapılar, ekonomik ömürleri boyunca çeşitli yüklere maruz kalırlar. Yapılara etkiyen dış etkenlerin başında deprem yer hareketi gelmektedir. Yapı sistemindeki düzensizlikler, tasarım hataları ve ekonomik ömrün tamamlanmış olması yapıların depremde hasar görmesine neden olmuştur. Deprem yapılar üzerinde yıkıcı etkisi olduğu bilindiğinden araştırmacılar, şehirlerin deprem risklerini belirlemeye çalışmışlardır. [1] ile kentleşme ve nüfus yoğunluğunun deprem riski yüksek bölgelerde arttığı belirtilerek Hırvatistan'daki şehirlerin deprem riskinin bina bazında belirlenmesine yönelik bir tahmin modeli önerilmiştir. [2] ile Kolombiya'nın üç büyük şehrindeki konut binalarının deprem risk değerlendirmesi yapılmıştır. Cali' deki ekonomik kaybın Bogota' ve Medellín' den daha fazla olacağı tahmin edilmiştir. Yapıların deprem performanslarının belirlenmesi, şehirlerin deprem risklerinin değerlendirilmesinde önemli bir unsur olarak karşımıza çıkmaktadır [1, 2].

Yapılan literatür araştırmasıyla çelik yapı deprem performansının tahmin edilmesi ve performansı etkileyen unsurlar açısından çeşitli çalışmalar yapıldığı görülmüştür. 1/8 ölçekli iki adet dört katlı düzlem çelik çerçevenin göçme durumu sayısal olarak tahmin edilmiştir [3]. Geniş başlıklı çelik kirişlerin dönme kapasitelerinin ve sünek davranışlarının tahminine yönelik bir dizi çalışma yapılmıştır [4, 5]. Çelik bir kolonun temel birleşimi ele alınmıştır. Birleşimin dönme kapasitesini teorik bir model üzerinden tahmin etmeye çalışmışlardır [6]. Alın levhalı kolon-kiriş birleşimlerinin analizi ile göçme durumları tahmin edilmiştir [7]. Süneklik etkisinin moment aktaran çelik çerçevelerin sismik performansına olan etkisi incelenmiştir [8]. Yapısal çelik elemanların şekil değiştirme kapasitelerini ve başlık narinliğinin dönme kapasitesine olan etkisi incelemiştir [9]. Geniş başlıklı kolon elemanlarında döngüsel davranış ve plastik mafsallı oluşumu analitik olarak ele alınmıştır [10]. Çalışmada W kesit profillerin sonlu eleman modelleri kullanılmıştır. [11] ile çelik elemanlar için Eurocode (EC) 8-3' de tanımlanan şekil değiştirme sınır değerleri incelenmiştir. Plastik dönme kapasiteleri, ASCE 41-06 ve ASCE 41-13 standartlarıyla karşılaştırılmıştır. Betonarme elemanlar için Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) ile TBDY-2018'deki kesit hasar sınır durumlarının karşılaştırması yapılmıştır [17]. [18] ile malzeme modellemesini ve şekil değiştirme sınırlarını dikkate alan gelişmiş bir analiz yöntemi ile çelik çerçeve tasarımı yapılmıştır.

Yapısal çelik ile üretilen yapılar, çeliğin sünek davranışından dolayı yüksek şekil değişimleri yapabilir ve plastik teoriye göre tasarlanabilirler [19]. Çelik yapıların deprem performanslarının tahmininde malzeme davranışının dikkate alınması ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine eklenmesi önem taşımaktadır. Malzemenin doğrusal olmayan davranışının göz önüne alınması, plastik mafsallı tanımla mümkün olmaktadır. Geometri değişimlerinde ise ikinci mertebeye etkileri dikkate alınır [20, 21].

Yapının deprem performansının belirlenebilmesi için yapısal elemanlara plastik mafsallı tanımlı yapılar hangi kesit tesiri etkisinde yapısal elemanlarda ne ölçüde hasar oluşacağını öngörülmesi gerekmektedir. Plastik mafsallı tanımlı, plastik mafsallı modelleme parametreleri ile yapılmaktadır. Şekil değiştirme sınır değerleri, deprem etkisi altındaki elemanlarda oluşan hasarın ne ölçüde olacağını tahmininde kullanılmaktadır. Doksanlı yıllardan bu yana yapı tasarımında ve mevcut yapı değerlendirmesinde çeşitli standartlar ile plastik mafsallı modellemesine ilişkin parametreler ve şekil değiştirme sınır değerleri belirlenmiştir.

Plastik mafsalsal modelleme parametreleri ve şekil değiştirme sınır değerlerinin veri olarak tasarımcılara sunulması açısından Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (Federal Emergency Management Agency - FEMA) ve Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği (American Society of Civil Engineers - ASCE) öncü olmuşlardır. Deprem yönetmeliklerimiz içerisinde ise ilk kez, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018) çelik yapı elemanları için şekil değiştirme sınır değerlerine yer verilmiştir. Şekil 1 ile FEMA, ASCE standartlarına ve TBDY-2018' e ait zaman akış şemasının gösterimi yapılmıştır.



Şekil 1. Zaman akış şeması

TBDY-2018' de plastik mafsalsal modelleme parametrelerinin bulunmadığı görülmüştür. Öte yandan TBDY-2018' in EK 5C' si, çelik elemanlar için izin verilen şekil değiştirme sınırları hakkında bilgi vermektedir. Tablo 5C.1 ile çelik kirişlerde plastik dönme sınırları ve Tablo 5C.2 ile çelik kolonlarda plastik dönme sınırları tanımlanmıştır. Yapılan kapsamlı literatür araştırmasıyla Tablo 5C.1 ve Tablo 5C.2' deki verilerin, farklı standartlar ile karşılaştırılarak irdelenmediği anlaşılmıştır.

Bu çalışmada FEMA 356, ASCE 41-06, ASCE 41-13 standartlarında ve TBDY-2018' de yer alan çelik kiriş ve kolon elemanları için plastik mafsalsal modelleme parametreleri ve şekil değiştirme sınır değerleri karşılaştırılmıştır. TBDY-2018 ile Amerikan standartları arasındaki ilişki ve TBDY-2018' in eksik yönleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında tek katlı düzlem çelik bir çerçeve ile iki katlı çelik bir yapının kolon ve kiriş elemanlarındaki plastik mafsalsal oluşumu ve elemanlardaki hasar düzeyleri incelenmiştir.

İki farklı nümerik analiz ile Amerikan standartlarının ve TBDY-2018' in belirlediği yapısal hasar düzeyleri arasındaki farklar ortaya konmuştur. TBDY-2018' de plastik mafsalsal parametrelerinin olmadığı, hasar düzeyleri arasında farklılıklar olduğu ve beklenen eğilme dayanımı hesabı için denklem eklenmesi gerektiği tespit edilmiştir.

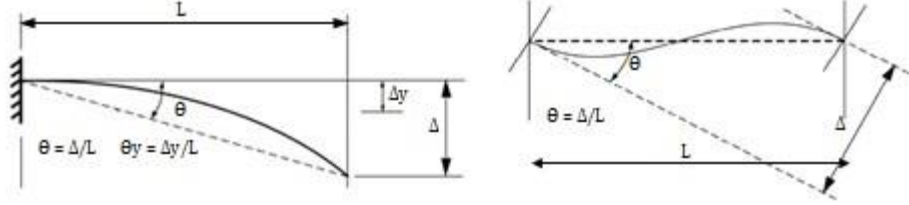
2. MODELLEME PARAMETRELERİ VE KABUL KRİTERLERİ

Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar (ÇYTHYDE-2018) ile plastik mafsalsal, doğrusal elastik olmayan şekil değiştirmelerin yığıldığı bölge olarak tanımlanmıştır. Modelleme parametreleri, plastik mafsalsal tanımında kullanılan parametreler olup akma dönmesi ve artık dayanım oranından oluşmaktadır. Akma dönmesi, akma anında kesitte meydana gelen dönme değeri iken artık dayanım oranı, hasarlı bir kesitin göçmeden taşıyabileceği yük oranı olarak tanımlanır [27].

Plastik mafsalsal tanımında akma dönmesinin ve beklenen eğilme dayanımının hesaplanması gerekmektedir. Plastik mafsalsal modellenmesine ve mafsalsalın ne ölçüde şekil değiştirdiğine ilişkin çeşitli standartlarda modelleme parametrelerine ve şekil değiştirme sınır değerlerine yer verilmiştir. Şekil değiştirme sınır değerleri, FEMA ve ASCE standartlarında kabul kriterleri olarak adlandırılmışken TBDY-2018' de şekil değiştirme sınırları olarak adlandırılmıştır.

2.1 Akma Dönmesinin Hesaplanması

Kolon ve kiriş elemanları için akma dönmesinin gösterimi, Şekil 2 ile yapılmıştır. Şekil 2’de yer alan θ elastik ve plastik dönme miktarının toplamını, θ_y akma dönmesini, Δ elastik ve plastik deplasmanın toplamını, Δ_y akmadaki deplasmanı, L eleman uzunluğunu ifade etmektedir [13, 14, 25].



Şekil 2. Kesit dönme tanımları

FEMA-356, ASCE 41-06 ve ASCE 41–13 standartlarında kiriş akma dönmesi (θ_y), (1) denklemi ile TBDY-2018’de (2) denklemi ile hesaplanmaktadır. (1) denklemindeki Z , kesit plastik modülü F_{ye} , malzemenin beklenen akma dayanımı, l_b , kiriş uzunluğu, E , elastisite modülü, I_b , kiriş atalet momenti ve (2) denklemindeki W_p , kesit plastik modülü olarak tanımlanır. (2) denklemindeki diğer ifadeler, (1) denklemindeki ile aynıdır.

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_b}{6EI_b} \quad (1)$$

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} l_b}{6EI_b} \quad (2)$$

FEMA-356, ASCE 41-06 ve ASCE 41–13 standartlarında kolon akma dönmesi (θ_y), (3) denklemi ile TBDY-2018’de (4) denklemi ile hesaplanmaktadır. (3) denklemindeki l_c , kolon uzunluğu, I_c , kolon atalet momenti, P , mevcut eksenel yük, P_{ye} , kolonun eksenel akma yükü, (4) denklemindeki l_k , kolon uzunluğu, I_k , kolon atalet momenti olarak tanımlanır.

$$\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_c}{6EI_c} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}}\right) \quad (3)$$

$$\theta_y = \frac{W_p F_{ye} l_k}{6EI_k} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}}\right) \quad (4)$$

(3) denkleminde bulunan P_{ye} , kolonun eksenel akma yükü olup (5) denklemi ile hesaplanmaktadır [13, 14, 25]. (5) denklemindeki A_g , kesit alanı olarak tanımlanır.

$$P_{ye} = A_g F_{ye} \quad (5)$$

2.2 Beklenen Eğilme Dayanımının Hesaplanması

FEMA-356, ASCE 41-06 ve ASCE 41–13 standartlarında kiriş elemanları için beklenen eğilme dayanımı (M_{CE}), (6) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$M_{CE} = ZF_{ye} \quad (6)$$

FEMA-356, ASCE 41-06 ve ASCE 41-13 standartlarında kolon elemanları için beklenen eğilme dayanımı (M_{CE}) (7) denklemi ile hesaplanmaktadır.

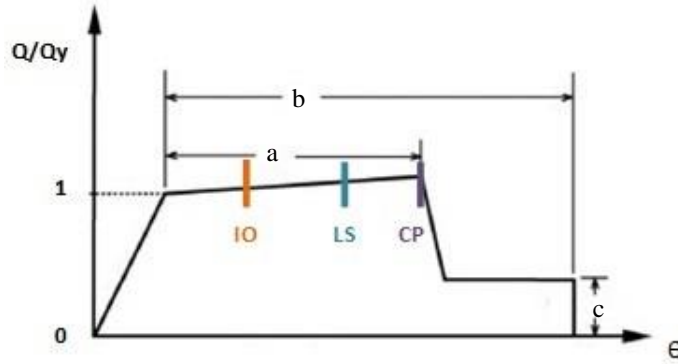
$$M_{CE} = 1.18ZF_{ye} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}} \right) \quad (7)$$

TBDY-2018' de kolon ve kiriş elemanları için plastik mafsalları tanımlamasına yönelik beklenen eğilme dayanımına ilişkin herhangi bir denklem önerilmemiştir.

2.3 Standartlardaki Modelleme Parametreleri ve Kabul Kriterleri

FEMA 356, ASCE 41-06 ve ASCE 41-13 standartlarında yapısal çelik bileşenlerin hasar sınır durumlarının değerlendirilmesi, doğrusal ve doğrusal olmayan prosedür olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Doğrusal analiz ile değerlendirme yapılması durumunda doğrusal prosedür kabul kriterleri, doğrusal olmayan analiz ile değerlendirme yapılması durumunda ise doğrusal olmayan prosedür kabul kriterleri kullanılmaktadır.

Şekil 3 ile geliştirilmiş kuvvet-deformasyon grafiğinin ve kabul kriterlerinin gösterimi yapılmıştır. Grafikteki a ve b plastik dönme açısı cinsinden modelleme parametreleriyken c, artık dayanım oranıdır. Q , kuvveti Q_y ise akmadaki kuvveti simgelemektedir. Eğilme etkisiyle plastik mafsalları oluşan kesitler için Q , eğilme momentine karşılık gelmektedir. Şekil değiştirme sınır değerleri Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS) ve Collapse Prevention (CP) olarak adlandırılırlar (FEMA-356; ASCE 41-06; ASCE 41-13).



Şekil 3. Genelleştirilmiş kuvvet-deformasyon ilişkisi ve kabul kriterleri

Tablo 1 ile FEMA 356, ASCE 41-06 ve ASCE 41-13 standartlarında yer alan kiriş ve kolon elemanları için doğrusal olmayan prosedür kapsamında verilmiş olan modelleme parametrelerinin ve kabul kriterlerinin gösterimi yapılmıştır. Tablo 2'de TBDY-2018' deki kabul kriterlerine (şekil değiştirme sınırları) yer verilmiştir. TBDY-2018 ile modelleme parametresi için herhangi bir öneride bulunulmamıştır.

Çelik bir kesit için Tablo 1'deki bf başlık genişliğini, tf başlık kalınlığını, h kesit yüksekliğini, tw gövde kalınlığını, P_{CL} beklenen aksel basınç dayanımını, P aksel yükü ifade etmektedir. Tablo 1' deki (*) verileri, ASCE 41-13 standardına aittir. (*) verilerinin haricinde kalan diğer veriler, bu üç standart için ortaktır. Tablo 1 incelendiğinde kiriş ve kolon elemanları için FEMA 356 ve ASCE 41-06 standartlarındaki modelleme parametrelerinin ve kabul kriterlerinin aynı olduğu görülmektedir. ASCE 41-13 standardındaki kabul kriterleri ise FEMA 356 ve ASCE 41-06 standartlarından farklıdır. Yine Tablo 1 incelendiğinde kiriş elemanı için modelleme parametrelerinin ve kabul kriterlerinin kesitin narinliği ile ilgili olduğu, kolon elemanı için bu parametrelerin ve kriterlerin hem kesit narinliği hem de aksel yük düzeyi ile ilgili olduğu görülmektedir. Benzer durum, TBDY-2018 için de geçerlidir.

Tablo 1. FEMA 356, ASCE 41-06, ASCE 41 – 13’deki doğrusal olmayan prosedür için modelleme parametreleri ve kabul kriterleri

FEMA 356, ASCE 41-06, ASCE 41 – 13 Eleman/Etki	Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri		
	Plastik Açısı, Radyan	Dönme	Artık Dayanım Oranı	Plastik Dönme Açısı, Radyan		
				IO	LS	CP
a	b	c				
Kiriş-Eğilme						
i. $bf/2tf \leq 52/\sqrt{F_{ye}}$ ve $h/tw \leq 418/\sqrt{F_{ye}}$	9 θ_y	11 θ_y	0,6	1 θ_y	6 θ_y 9 θ_y^*	8 θ_y 11 θ_y^*
ii. $bf/2tf \geq 65/\sqrt{F_{ye}}$ ya da $h/tw \geq 640/\sqrt{F_{ye}}$	4 θ_y	6 θ_y	0,2	0,25 θ_y	2 θ_y 3 θ_y^*	3 θ_y 4 θ_y^*
iii. Diğer durumda	Hem başlık narinliği (birinci terim) hem de gövde narinliği (ikinci terim) için i ve ii satırlarındaki değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılacak ve elde edilen en düşük değer kullanılacaktır.					
Kolon-Eğilme						
$P/P_{CL} < 0,20$						
i. $bf/2tf \leq 52/\sqrt{F_{ye}}$ ve $h/tw \leq 300/\sqrt{F_{ye}}$	9 θ_y	11 θ_y	0,6	1 θ_y	6 θ_y 9 θ_y^*	8 θ_y 11 θ_y^*
ii. $bf/2tf \geq 65/\sqrt{F_{ye}}$ ya da $h/tw \geq 460/\sqrt{F_{ye}}$	4 θ_y	6 θ_y	0,2	0,25 θ_y	2 θ_y 3 θ_y^*	3 θ_y 4 θ_y^*
iii. Diğer durumda	Hem başlık narinliği (birinci terim) hem de gövde narinliği (ikinci terim) için i ve ii satırlarındaki değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılacak ve elde edilen en düşük değer kullanılacaktır.					
Kolon-Eğilme						
$0,20 \leq P/P_{CL} \leq 0,50$						
i. $bf/2tf \leq 52/\sqrt{F_{ye}}$ ve $h/tw \leq 260/\sqrt{F_{ye}}$	11(1-1.7 P/P _{CL}) θ_y	17(1-1.7 P/P _{CL}) θ_y	0,2	0,25 θ_y	8(1-1.7 P/P _{CL}) θ_y 14(1-1.7 P/P _{CL}) θ_y^*	11(1-1.7 P/P _{CL}) θ_y 17(1-1.7 P/P _{CL}) θ_y^*
ii. $bf/2tf \geq 65/\sqrt{F_{ye}}$ ya da $h/tw \geq 400/\sqrt{F_{ye}}$	1 θ_y	1,5 θ_y	0,2	0,25 θ_y	0,5 θ_y 1,2 θ_y^*	0,8 θ_y 1,2 θ_y^*
iii. Diğer durumda	Hem başlık narinliği (birinci terim) hem de gövde narinliği (ikinci terim) için i ve ii satırlarındaki değerler arasında doğrusal enterpolasyon yapılacak ve elde edilen en düşük değer kullanılacaktır.					

TBDY-2018’ de kiriş ve kolon elemanları için izin verilen şekil değiştirme sınırları, farklı performans düzeyleri (kabul kriterleri) için plastik dönme cinsinden verilmiştir. Çelik kirişlerde ve kolonlarda süneklik düzeyi, TBDY-2018’ deki Tablo 9-3’ de tanımlanan en kesit koşulları dikkate alınarak belirlenmekte olup $P/P_c > 0,50$ koşulunda olan kolonlarda doğrusal olmayan şekil değiştirmelere izin verilmemektedir. Tablo 2, TBDY-2018’ deki Tablo 5C.1. ile 5C.2. yardımıyla oluşturulmuştur. Tablo 2’ deki P_c beklenen aksenal basınç dayanımını ve P aksenal yükü ifade etmektedir.

FEMA 356, ASCE 41-06 ve ASCE 41-13’ de kabul kriterleri Immediate Occupancy (IO), Life Safety (LS) ve Collapse Prevention (CP) olarak tanımlanırken TBDY-2018’ de SH, KH ve GÖ olarak tanımlanmıştır. TBDY-2018’ de SH sınırlı hasar performans düzeyini, KH kontrollü hasar performans düzeyini ve GÖ göçmenin önlenmesi hasar performans düzeyini ifade etmektedir. IO, SH’ ye LS, KH’ ye ve CP, GÖ performans düzeyine karşılık gelmektedir. SH, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiğini, doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığını; KH, can güvenliğini

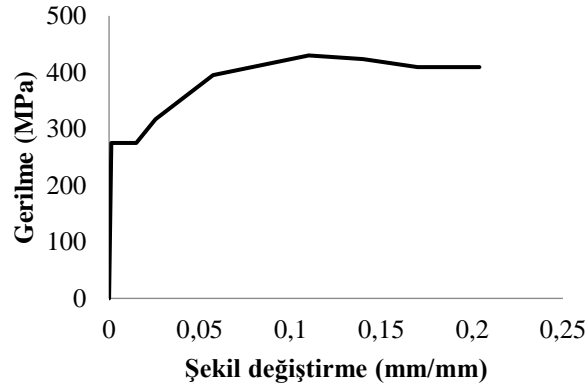
sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasarın olduğunu ve GÖ, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın olduğunu işaret etmektedir (TBDY-2018).

Tablo 2. TBDY-2018'deki doğrusal olmayan prosedür için modelleme parametreleri ve kabul kriterleri

TBDY-2018 Eleman/Etki	Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri (Şekil Değiştirme Sınırları)		
	Plastik Açısı, Radyan	Dönme Oranı	Artık Dayanı m Oranı	Plastik Dönme Açısı, Radyan		
				SH	KH	GÖ
Kiriş-Eğilme						
i. Süneklik düzeyi yüksek (Bkz. Tablo 9-3)	---	---	---	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$
ii. Süneklik düzeyi sınırlı (Bkz. Tablo 9-3)	---	---	---	$0,25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
Kolon-Eğilme						
$P/P_c < 0,20$ (Bkz. Tablo 9-3)						
i. Süneklik düzeyi yüksek	---	---	---	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$9\theta_y$
ii. Süneklik düzeyi sınırlı	---	---	---	$0,25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
Kolon-Eğilme						
$0,20 \leq P/P_c < 0,50$ (Bkz. Tablo 9-3)						
i. Süneklik düzeyi yüksek	---	---	---	$1,5(1-1,66 P/P_c)\theta_y$	$9(1-1,66 P/P_c)\theta_y$	$13,5(1-1,66 P/P_c)\theta_y$
ii. Süneklik düzeyi sınırlı	---	---	---	$0,25\theta_y$	$0,7\theta_y$	$1\theta_y$

3. NÜMERİK ÇALIŞMA

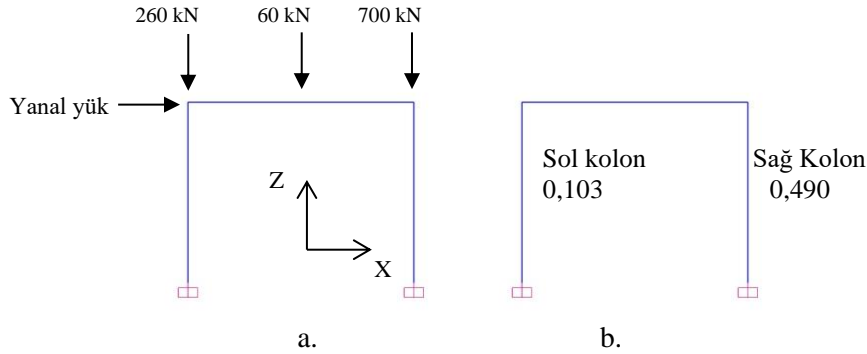
Nümerik çalışma, yapısal analiz ve tasarım yapabilen Sap2000 bilgisayar programı ile yapılmıştır. Yapısal çelik malzemesi olarak programın öntanımlı malzeme listesinden tercih yapılmış olup, EN 1993-1-1'e göre EN 10025-2 standardındaki S275 kalitesinde malzeme kullanılmıştır. Malzemeye ait gerilme şekil değiştirme eğrisi, Şekil 4 ile gösterilmiştir. Çalışmada düzlem çelik bir çerçeve ve iki katlı çelik bir yapı ele alınmıştır.



Şekil 4. Yapısal çelik malzemesi

3.1 Düzlem Çelik Çerçeve

Yapı, tek açıklıklı tek katlı düzlem çelik çerçevedir. Açıklık 5 metre ve kat yüksekliği 4 metredir. Kolonlar ve kiriş kesitleri, kuvvetli eksenleri yönünde analiz edilmişlerdir. Çerçeve zemine ankastre bağlanmıştır. Kiriş üzerinde (-Z) yönlü 260 kN, 60 kN ve 700 kN noktasal yük bulunmaktadır. Çerçeve üzerindeki düşey yükler ve yanal yük uygulama noktaları, Şekil 5.a ile gösterilmiştir. 60 kN değerindeki tekil yük, kiriş açıklığının orta noktasındadır. Çerçeve zati ağırlığı ve kiriş yüklerinden oluşan tek bir kombinasyon altında ÇYTHYDE-2018' e göre boyutlandırılmıştır. Boyutlandırmada Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yaklaşımı kullanılmış olup, kolonlar için Bölüm 11' deki, kirişler için Bölüm 9' daki esaslar dikkate alınmıştır. Kolonlar HE240A ve kirişler HE200A olarak tasarlanmıştır. Zemin kat kolonları için P/P_{CL} oranı sol kolon için 0,103 ve sağ kolon için 0,490 olarak hesaplanmış olup, Şekil 5.b ile kolonlardaki P/P_{CL} oranları gösterilmiştir.



Şekil 5.a. Çerçeve yükleri b. P/P_{CL} oranı

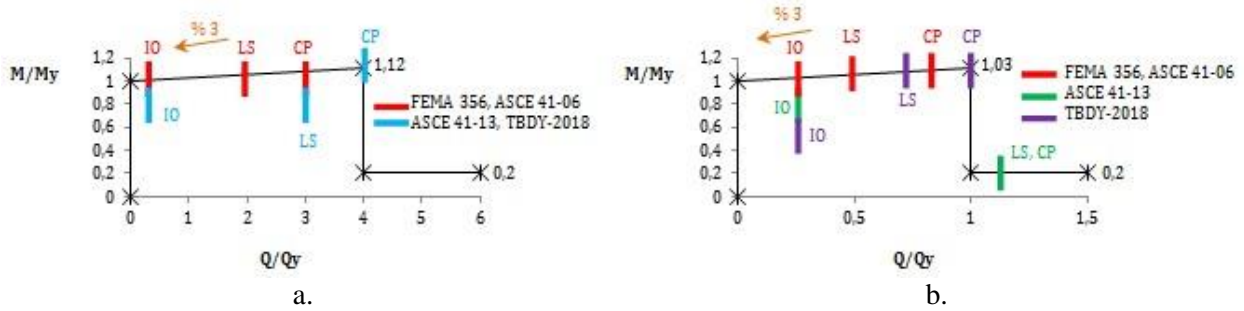
Çerçevedeki maksimum moment noktalarında plastik mafsalları oluşacağından kolon, kiriş uç noktalarına ve kiriş açıklığının orta noktasına plastik mafsalları tanımlaması yapılmıştır.

Tablo 3. Standartlara göre hesaplanan modelleme parametreleri ve kabul kriterleri

Standart	Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri		
	Plastik dönme açısı (radyan)	Artık dayanım oranı		Plastik dönme açısı (radyan)		
Kiriş	a	b	c	IO (SH)	LS (KH)	CP (GÖ)
FEMA 356	4θ _y	6θ _y	0,2	0,25θ _y	2θ _y	3θ _y
ASCE 41-06	4θ _y	6θ _y	0,2	0,25θ _y	2θ _y	3θ _y
ASCE 41-13	4θ _y	6θ _y	0,2	0,25θ _y	3θ _y	4θ _y
TBDY-2018	---	---	---	0,25θ _y	3θ _y	4θ _y
Sol Kolon	a	b	c	IO (SH)	LS (KH)	CP (GÖ)
FEMA 356	4θ _y	6θ _y	0,2	0,25θ _y	2θ _y	3θ _y
ASCE 41-06	4θ _y	6θ _y	0,2	0,25θ _y	2θ _y	3θ _y
ASCE 41-13	4θ _y	6θ _y	0,2	0,25θ _y	3θ _y	4θ _y
TBDY-2018	---	---	---	0,25θ _y	3θ _y	4θ _y
Sağ Kolon	a	b	c	IO (SH)	LS (KH)	CP (GÖ)
FEMA 356	1θ _y	1,5θ _y	0,2	0,25θ _y	0,5θ _y	0,8θ _y
ASCE 41-06	1θ _y	1,5θ _y	0,2	0,25θ _y	0,5θ _y	0,8θ _y
ASCE 41-13	1θ _y	1,5θ _y	0,2	0,25θ _y	1,2θ _y	1,2θ _y
TBDY-2018	---	---	---	0,25θ _y	0,7θ _y	1θ _y

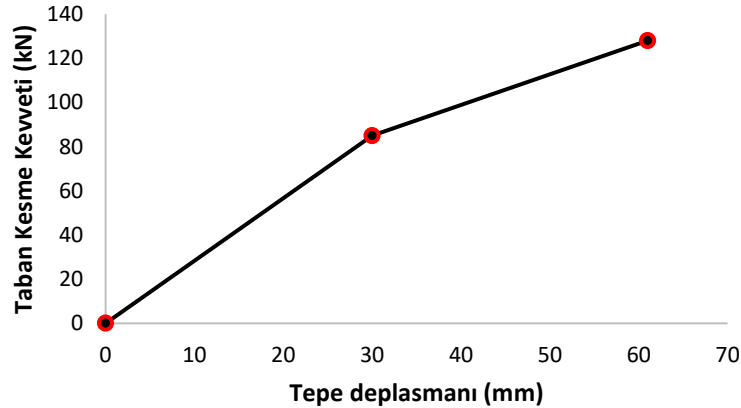
Plastik mafsalları tanımlamalarında kullanılan modelleme parametreleri ve şekil değiştirme sınır durumlarını belirleyen kabul kriterleri için hesaplanan değerler, Tablo 3 ile gösterilmiştir. Tablo 3' deki modelleme parametreleri ve kabul kriterleri, Tablo 1 ve Tablo 2' deki veriler kullanılarak hesaplanmıştır. TBDY-

2018' e ait verilerin hesaplanmasında TBDY-2018' de yer alan Tablo 9-3' den yararlanılmıştır. Şekil 6 ile plastik mafsalları modelleri üzerinde ilgili standartlara ait şekil değiştirme sınırları gösterilmiştir. Şekil 6.' daki M , momenti ve Q , dönme değeri simgelemekte olup Şekil 6.a' daki $M/My = 1,12$ üst değeri ile Şekil 6.b' deki $M/My = 1,03$ üst değeri, FEMA ve ASCE standartlarının önerdiği %3 eğim kabulüne göre hesaplanmıştır. Akma dönmesi hesabında (1), (2), (3), (4) ve (5) denklemleri kullanılmıştır. Beklenen eğilme dayanımının hesabında (6) ve (7) denklemleri kullanılmıştır. Çerçeveye plastik mafsalları tanımlaması ve yükleme durumları tanımlandıktan sonra sabit tek modlu itme analizi yapılmıştır. Geometri değişimlerinde ikinci mertebe etkileri dikkate alınmıştır. Yanal yük miktarı artırılmış olup, her bir yanal yük miktarı için çerçevedeki şekil değiştirme durumları ele alınan standartlar kapsamında gözlemlenmiştir.



Şekil 6.a. Kiriş ve sol kolon mafsalları tanımı b. Sağ kolon mafsalları tanımı

Çerçevenin taban kesme kuvveti – tepe deplasman değeri çiftleriyle performans eğrisi oluşturulmuştur. Çerçeve, mekanizma durumuna geçinceye kadar itilmiştir. Şekil 7 ile performans eğrisinin gösterimi yapılmıştır. Düşey yüklerin dağılımına ve büyüklüğüne bağlı olarak çerçevede sadece sağ kolon alt ucunda plastik mafsalları oluşumu incelenmiştir. Yükleme ile kolonlarda, $0,20 \leq P/P_{CL} \leq 0,50$ ve $0,20 \leq P/P_c < 0,50$ koşullarının sağlanabilmesi hedeflendiğinden çerçeve sünek davranış sergilememiştir.



Şekil 7. Çerçeve performans eğrisi

105 kN ve 110 kN yanal yük etkisindeki çerçevede oluşan şekil değiştirme dereceleri incelenmiştir. Tablo 4 ile 105 kN ve 110 kN yanal yük etkilerindeki kesitlerde oluşan hasar düzeyleri gösterilmiştir. Her iki yük durumu için FEMA-356 ve ASCE 41-06 standartlarında sonuçlar aynıdır. 105 kN yanal yük etkisinde ASCE 41-13 ve TBDY-2018 hasar düzeyleri aynı iken 110 kN yanal yük etkisinde ise farklıdır. 105 kN yük etkisi altında FEMA-356 ve ASCE 41-06 standartlarında hasar düzeyi Life Safety (LS) – Collapse Prevention (CP) arasındadır. ASCE41-13 standardında ve TBDY-2018' de hasar düzeyi Immediate Occupancy (IO) - Life Safety (LS) arasındadır. 110 kN yük etkisi altında FEMA-356 ve ASCE 41-06

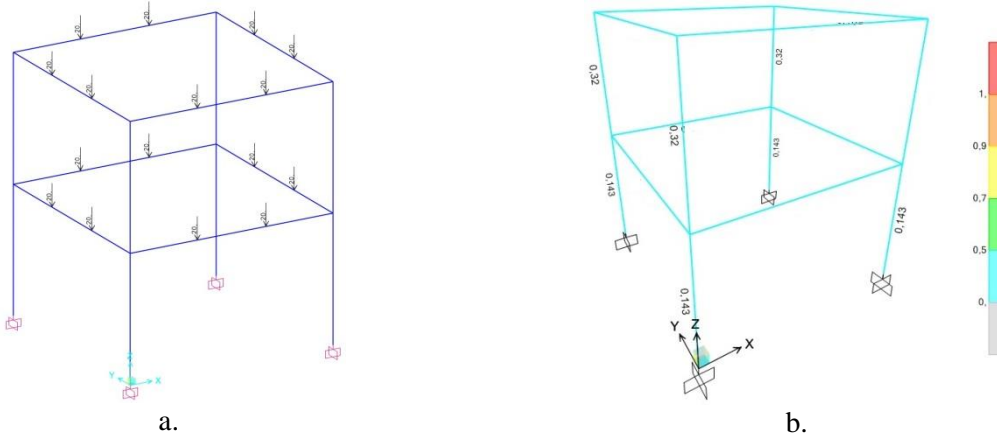
standartlarında hasar düzeyi Collapse Prevention (CP) düzeyinden ileridir. ASCE41-13 standardında hasar düzeyi Immediate Occupancy (IO) - Life Safety (LS) arasındadır. TBDY-2018’ de hasar düzeyi Life Safety (LS) - Collapse Prevention (CP) arasındadır.

Tablo 4. Hasar düzeylerinin karşılaştırılması

Standart	Mafsallaşma (105 kN yanal yük etkisinde)		
	Sol kolon	Kiriş	Sağ kolon alt ucu
FEMA 356	---	---	LS-CP
ASCE 41-06	---	---	LS-CP
ASCE 41-13	---	---	IO-LS
TBDY-2018	---	---	IO-LS
Standart	Mafsallaşma (110 kN yanal yük etkisinde)		
	Sol kolon	Kiriş	Sağ kolon alt ucu
FEMA 356	---	---	> CP
ASCE 41-06	---	---	> CP
ASCE 41-13	---	---	IO-LS
TBDY-2018	---	---	LS-CP

3.2 İki katlı Çelik Yapı

Yapı, iki katlı her iki yönde (X ve Y) tek açıklıklı çelik bir yapı ele alınmıştır. (X) ve (Y) yönlerindeki açıklık 5 metredir. Kat yüksekliği 3 metredir. Yapı zemine ankastre bağlanmıştır. Kirişler üzerinde (-Z) yönlü 20 kN noktasal yük bulunmaktadır. Yükleme noktaları, Şekil 8.a ile gösterilmiştir. Yapı, zati ağırlık ve 20 kN yükleden oluşan tek bir kombinasyon altında ÇYTHYDE-2018’e göre boyutlandırılmıştır. Boyutlandırmada Yük ve Dayanım Katsayıları ile Tasarım (YDKT) yaklaşımı kullanılmış olup, kolonlar için Bölüm 11’deki, kirişler için Bölüm 9’deki esaslar dikkate alınmıştır. Kolonlar HE240A ve kirişler HE200A olarak tasarlanmıştır. Zemin kat kolonları için P/P_{CL} oranı 0,143 olarak hesaplanmış olup, Şekil 8.b ile kolonlardaki P/P_{CL} oranları gösterilmiştir.



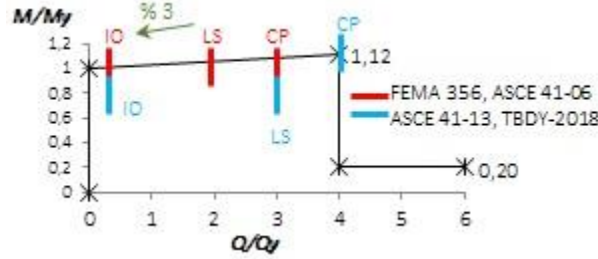
Şekil 8. a. Üç boyutlu çelik yapı, b. P/P_{CL} oranı

Plastik mafsalları tanımlamalarında kullanılan modelleme parametreleri ve şekil değiştirme sınır durumlarını belirleyen kabul kriterleri için hesaplanan değerler, Tablo 5 ile gösterilmiştir. Tablo 5’deki modelleme parametreleri ve kabul kriterleri, Tablo 1 ve Tablo 2’deki veriler kullanılarak hesaplanmıştır. TBDY-2018’e ait verilerin hesaplanmasında TBDY-2018’de yer alan Tablo 9-3’den yararlanılmıştır. Şekil 9 ile plastik mafsalları modelleri üzerinde ilgili standartlara ait şekil değiştirme sınırları gösterilmiştir. Şekil 9’deki M , momenti ve Q , dönme değerini simgelemekte olup $M/M_y = 1,12$ üst değeri, FEMA ve ASCE standartlarının önerdiği %3 eğim kabulüne göre hesaplanmıştır. Akma dönmesi hesabında (1), (2), (3), (4) ve (5) denklemleri kullanılmıştır. Beklenen eğilme dayanımının hesabında (6) ve (7) denklemleri

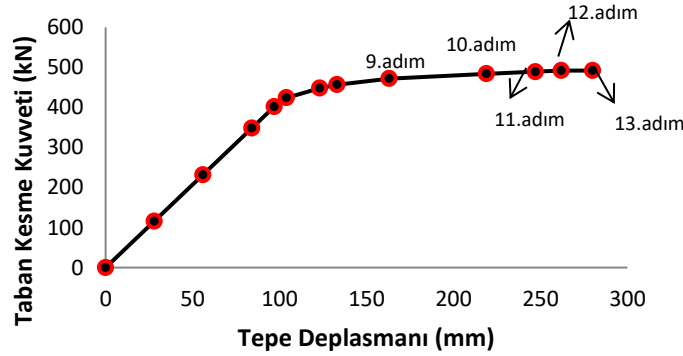
kullanılmıştır. Tablo 5 ile gösterimi yapılan kabul kriterleri, kolon ve kiriş elemanlarındaki hasar düzeylerini işaret etmektedir. Plastik dönme açısı arttıkça elemandaki hasar artmaktadır.

Tablo 5. Standartlara göre hesaplanan modelleme parametreleri ve kabul kriterleri

Standart	Modelleme Parametreleri			Kabul Kriterleri		
	Plastik dönme açısı (radyan)		Artık dayanım oranı	Plastik dönme açısı (radyan)		
Kiriş	a	b	c	IO (SH)	LS (KH)	CP (GÖ)
FEMA 356	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0,2	$0,25\theta_y$	$2\theta_y$	$3\theta_y$
ASCE 41-06	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0,2	$0,25\theta_y$	$2\theta_y$	$3\theta_y$
ASCE 41-13	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0,2	$0,25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
TBDY-2018	---	---	---	$0,25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
Kolon	a	b	c	IO (SH)	LS (KH)	CP (GÖ)
FEMA 356	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0,2	$0,25\theta_y$	$2\theta_y$	$3\theta_y$
ASCE 41-06	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0,2	$0,25\theta_y$	$2\theta_y$	$3\theta_y$
ASCE 41-13	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0,2	$0,25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
TBDY-2018	---	---	---	$0,25\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$



Şekil 9. Kolon-kiriş plastik mafsal tanımı



Şekil 10. Performans eğrisi

Yapı, sadece X yönü için sabit tek modlu statik itme analizi ile incelenmiştir. Yanal yük şablonu olarak üçgen dağılım benimsenmiştir. Zemin kat seviyesindeki düğüm noktalarında X yönündeki yanal yük bir birim iken birinci kat düğüm noktalarında iki birimdir. Geometri değişimlerinde ikinci mertbe etkileri dikkate alınmıştır. Kolon-kiriş birleşimlerinin moment aktardığı ve birleşimlerde plastik mafsal oluşmadığı kabul edilmiştir. Kolon ve kiriş kesitleri, kuvvetli yönleri doğrultusunda analiz edilmiştir. Yanal yük etkisi altında kolon alt ve üst uç noktaları ile kiriş başlangıç ve bitiş noktalarında plastik mafsal oluşacağı ön görülmüştür. Her adımda yanal yük miktarı artırılarak yapıdaki plastik mafsal oluşumunun

artması sağlanmıştır. Her bir yanal yük miktarı için yapıdaki şekil değiştirme durumları ele alınan standartlar kapsamında incelenmiştir. Yapının taban kesme kuvveti – tepe deplasman değer çiftleriyle performans eğrisi oluşturulmuştur. Yapı, mekanizma durumuna geçinceye kadar itilmiştir. Şekil 10 ile performans eğrisinin gösterimi yapılmıştır. Şekil 10’ dan de anlaşılacağı üzere statik itme analizi, 13 adımda gerçekleştirilmiştir.

Şekil 11, 13, 14 ve 15 ile yapıdaki hasar düzeylerinin gösterimi yapılmıştır. Birinci adımdan dokuzuncu adıma kadar dokuzuncu adımda dahil olmak üzere tüm standartlardaki hasar düzeyleri aynıdır. Onuncu adımda hasar düzeyleri farklılık göstermiştir. Tablo 5 incelendiğinde FEMA 356 ve ASCE 41-06’ deki kabul kriterleri ile ASCE 41-13 ve TBDY-2018’ deki kabul kriterlerinin aynı olduğu görülmektedir. Şekil 11.a., 13.a., 14.a. ve 15.a. ile gösterimi yapılan hasar düzeyleri FEMA 356 ve ASCE 41-06 için verilmişken Şekil 11.b., 13.b., 14.b. ve 15.b. ile gösterimi yapılan hasar düzeyleri ASCE 41-13 ve TBDY-2018 için verilmiştir.

Zemin kat kolonlarının alt uçlarında, X yönündeki zemin kat ve birinci kat kirişlerinin başlangıç (sol uç) ve bitiş (sağ uç) noktalarında plastik mafsalları oluşumu gözlemlenmiştir. Göçme mekanizması, zemin kat kolon alt uçlarındaki plastik mafsalları oluşumuyla meydana gelmiştir. Hasar düzeylerinin karşılaştırması, Tablo 6 ile gösterilmiştir.

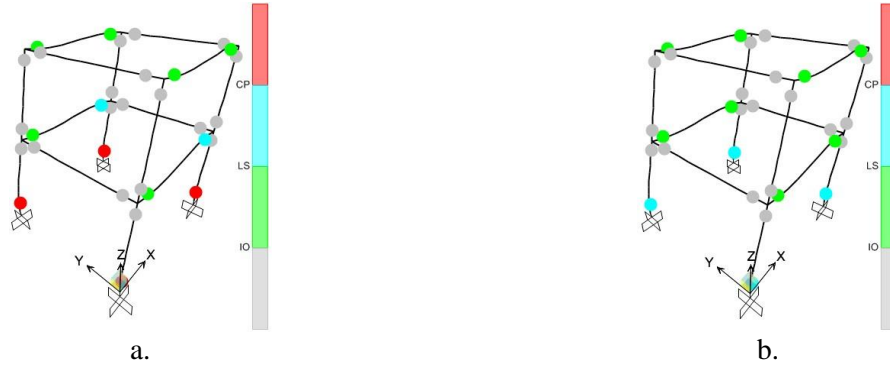
Tablo 6. Hasar düzeylerinin karşılaştırılması

9. adımdaki plastik mafsalları oluşumu										
Standart	Kolon hd	Kolon pdd (rad)	ZK kiriş sol ucu hd	ZK kiriş sol ucu pdd (rad)	ZK kiriş sağ ucu hd	ZK kiriş sağ ucu pdd (rad)	BK kiriş sol ucu hd	BK kiriş sol ucu pdd (rad)	BK kiriş sağ ucu hd	BK kiriş sağ ucu pdd (rad)
FEMA 356	IO - LS		IO - LS		IO - LS		---		IO - LS	
ASCE 41-06	IO - LS	0,0236	IO - LS	0,0289	IO - LS	0,0286	---	0,0215	IO - LS	0,0204
ASCE 41-13	IO - LS		IO - LS		IO - LS		---		IO - LS	
TBDY-2018	IO - LS		IO - LS		IO - LS		---		IO - LS	
10. adımdaki plastik mafsalları oluşumu										
Standart	Kolon hd	Kolon pdd (rad)	ZK kiriş sol ucu hd	ZK kiriş sol ucu pdd (rad)	ZK kiriş sağ ucu hd	ZK kiriş sağ ucu pdd (rad)	BK kiriş sol ucu hd	BK kiriş sol ucu pdd (rad)	BK kiriş sağ ucu hd	BK kiriş sağ ucu pdd (rad)
FEMA 356	> CP		IO - LS		LS -CP		IO - LS		IO - LS	
ASCE 41-06	> CP	0,0317	IO - LS	0,0388	LS -CP	0,0384	IO - LS	0,0313	IO - LS	0,0302
ASCE 41-13	LS -CP		IO - LS		IO - LS		IO - LS		IO - LS	
TBDY-2018	LS -CP		IO - LS		IO - LS		IO - LS		IO - LS	
12. adımdaki plastik mafsalları oluşumu										
Standart	Kolon hd	Kolon pdd (rad)	ZK kiriş sol ucu hd	ZK kiriş sol ucu pdd (rad)	ZK kiriş sağ ucu hd	ZK kiriş sağ ucu pdd (rad)	BK kiriş sol ucu hd	BK kiriş sol ucu pdd (rad)	BK kiriş sağ ucu hd	BK kiriş sağ ucu pdd (rad)
FEMA 356	> CP		LS -CP		LS -CP		IO - LS		IO - LS	
ASCE 41-06	> CP	0,0378	LS -CP	0,0463	LS -CP	0,0459	IO - LS	0,0387	IO - LS	0,0376
ASCE 41-13	LS -CP		IO - LS		IO - LS		IO - LS		IO - LS	
TBDY-2018	LS -CP		IO - LS		IO - LS		IO - LS		IO - LS	
13. adımdaki plastik mafsalları oluşumu										
Standart	Kolon hd	Kolon pdd (rad)	ZK kiriş sol ucu hd	ZK kiriş sol ucu pdd (rad)	ZK kiriş sağ ucu hd	ZK kiriş sağ ucu pdd (rad)	BK kiriş sol ucu hd	BK kiriş sol ucu pdd (rad)	BK kiriş sağ ucu hd	BK kiriş sağ ucu pdd (rad)
FEMA 356	> CP		LS -CP		LS -CP		IO - LS		LS -CP	
ASCE 41-06	> CP	0,0403	LS -CP	0,0494	LS -CP	0,0489	IO - LS	0,0416	LS -CP	0,0405
ASCE 41-13	> CP		IO - LS		IO - LS		IO - LS		IO - LS	
TBDY-2018	> CP		IO - LS		IO - LS		IO - LS		IO - LS	

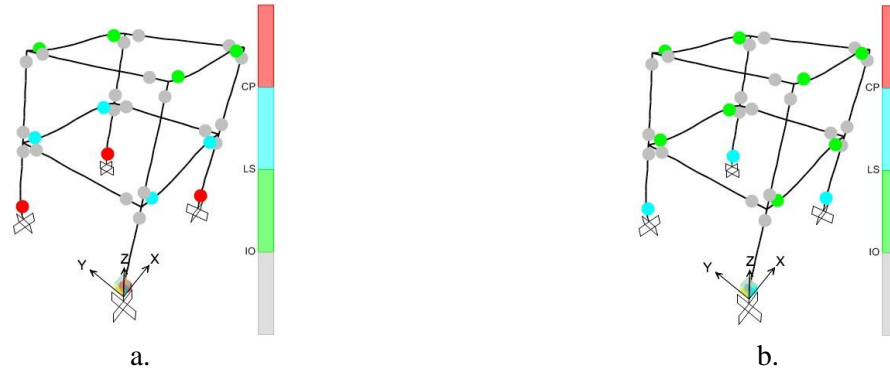
Tablo 6’deki hd, hasar düzeyini; pdd, plastik dönme değerini; ZK, zemin katı; BK, birinci katı simgelemektedir. Yapı simetrik olduğundan zemin kat kolonlarındaki, zemin kat ve birinci kat kirişlerindeki hasar düzeyleri ve plastik dönme değerleri birbirleri içerisinde aynıdır. Bu nedenle, Tablo 6’da tek bir kolon ve hem zemin hem de birinci kattaki tek bir kiriş için gösterim yapılmıştır.



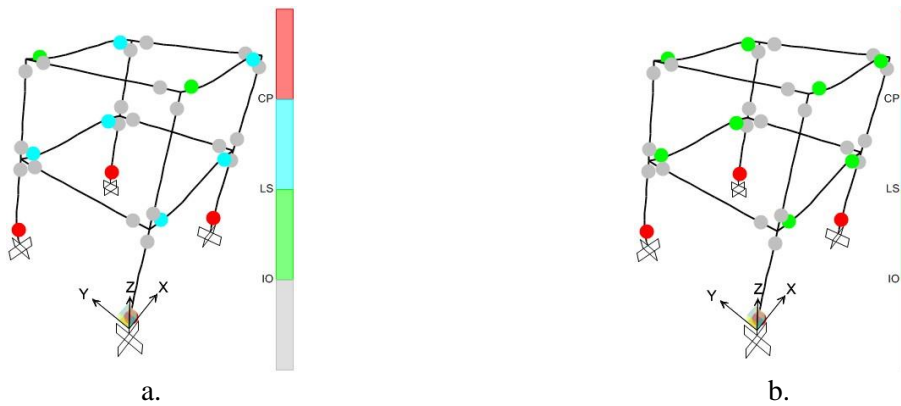
Şekil 11. Dokuzuncu adımdaki plastik mafsallı oluşumu



Şekil 12. Onuncu adımdaki plastik mafsallı oluşumu



Şekil 13. On ikinci adımdaki plastik mafsallı oluşumu



Şekil 14. On üçüncü adımdaki plastik mafsallı oluşumu

4. TARTIŞMA

TBDY-2018, betonarme ve çelik yapıların deprem performans kriterlerini içermektedir. Yapılan kapsamlı literatür araştırmasıyla TBDY-2018’ de yer alan çelik kiriş ve kolon elemanlarının şekil değiştirme sınır değerlerine dair bir çalışma olmadığı görülmüştür. Ancak [17] ile betonarme elemanlar için Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007) ile TBDY-2018’deki şekil değiştirme sınır durumlarının karşılaştırması yapılmıştır. [17] ile yapılan çalışma hem betonarme yapı elemanlarını içermesi hem de ulusal yönetmelik dışına çıkmaması açısından bu çalışmadan ayrılmaktadır.

Çalışma ile çelik kolon ve kiriş plastik mafsallı parametrelerinin ve şekil değiştirme sınır değerlerinin farklı standartlar kullanılarak karşılaştırması yapılmıştır. FEMA 356, ASCE 41-06, ASCE 41-13 standartları ve TBDY-2018 incelenmiştir. Çalışma kapsamında tek katlı düzlem çelik bir çerçeve ve iki katlı her iki yönde (X ve Y) tek açıklıklı çelik bir yapı ele alınmıştır. FEMA 356, ASCE 41-06 ve ASCE 41-13 standartlarında plastik mafsallı modellemelerine, şekil değiştirme sınır değerlerine, akma dönmesi hesabına ve beklenen eğilme dayanımı hesabına yer verilmiştir. Buna karşın TBDY-2018’ de plastik mafsallı model parametrelerinin bulunmadığı ve TBDY-2018’in plastik mafsallı tanımına yönelik beklenen eğilme dayanımında ilişkin bir denklem önermediği belirlenmiştir. TBDY-2018, çelik yapıların deprem performansının doğrusal olmayan prosedüre göre belirlenmesinde eksik kalmaktadır.

Ülkemizdeki yapı stoğunun, önemli bir bölümünü betonarme binaların oluşturduğu düşünülürse, betonarme binalar için farklı standartlardaki mevcut bina değerlendirme prosedürlerinin TBDY-2018’ deki prosedürler ile karşılaştırılması önerilmektedir.

5. SONUÇ

Deprem etkisindeki yeni yapılacak çelik yapıların tasarımında ya da mevcut çelik yapıların performans değerlendirmesinde artan yanal yükler altında kolon ve kiriş elemanlarında oluşması muhtemel hasarın tahmini, yapının stabilitesini koruma ve göçmesini engelleme noktasında büyük önem taşımaktadır. Hasar tahmininde plastik mafsallı tanım ve şekil değiştirme sınır değerleri (kabul kriterleri) kullanılmaktadır. Plastik mafsallı tanımla taşıyıcı elemanın doğrusal olmayan davranışı modellenirken şekil değiştirme sınırlarıyla da hasarın ne ölçüde olacağı tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Tablo 1 incelendiğinde FEMA 356, ASCE 41-06 ve ASCE 41-13 standartlarındaki modelleme parametrelerinin ve IO kabul kriterinin aynı olduğu buna karşın LS ve CP kriterlerinin farklı olduğu, Tablo 1 ve 2 incelendiğinde TBDY-2018’ deki kabul kriterlerinin diğer üç standarttan farklı olduğu görülmüştür. Kabul kriterleri kapsamında tüm standartların kiriş elemanı için kesit narinliğini, kolon elemanı için hem kesit narinliğini hem de aksenal yük düzeyini dikkate aldığı belirlenmiştir. Tablo 1 ve 2’ deki kabul kriterleri karşılaştırıldığında TBDY-2018 değerlerinin diğer standartlardan farklı olduğu görülmüştür. Şekil 1.’ deki zaman akış şeması dikkate alındığında önce FEMA 356 sonra ASCE 41-06 sonra da ASCE 41-13 standartları oluşturulmuştur. Bu nedenle en doğru veri olarak ASCE 41-13 sınır değerleri kabul edilmiştir. TBDY-2018’ deki kolon-eğilme $[(0,20 \leq P/P_c < 0,50)$ i. süneklik düzeyi yüksek] koşulundaki SH kriteri ASCE 41-13’ den farklı olup diğer beş koşul için aynıdır. TBDY-2018’ deki kolon-eğilme $[(P/P_c < 0,20)$ ii. süneklik düzeyi sınırlı] ve kiriş-eğilme [ii. süneklik düzeyi sınırlı] koşullarındaki KH ve GÖ kriteri ASCE 41-13 ile aynı olup diğer koşullar için farklıdır.

Bölüm 3.1’ deki Düzlem Çelik Çerçeve, farklı aksenal yük düzeyindeki iki kolondan ve bir kirişten oluşmaktadır. Şekil 7.a incelendiğinde TBDY-2018 ile ASCE 41-13 standartlarının kabul kriterlerinin aynı olduğu ancak Şekil 7.b’ de ise farklı oldukları tespit edilmiştir. Şekil 8 ile sabit tek modlu itme analizi sonucunda çerçeve performans eğrisi çizilmiştir. Çerçeve mekanizması oluşmaktadır. Analiz ile sağ kolon alt ucunda plastik mafsallı oluşumu gözlenmiştir. Tablo 4 ile farklı standartlardaki hasar sınır durumlarına yer verilmiştir. 105 kN yanal yük etkisindeki çerçeve sağ kolon alt ucundaki hasar, FEMA 356 ve ASCE 41-06 standartlarına göre LS - CP, ASCE 41-13 ve TBDY-2018 standartlarına göre IO - LS

sınırları arasındadır. 110 kN yanal yük etkisinde tüm standartlarda hasar artmıştır. FEMA 356 ve ASCE 41-06 standartlarına göre hasar > CP, ASCE 41-13 standardında IO - LS sınırları arasında ve TBDY-2018 yönetmeliğine göre LS - CP sınırları arasındadır.

Bölüm 3.2’deki İki Katlı Çelik Yapı kapsamında Tablo 5 incelendiğinde FEMA 356, ASCE 41-06 ve ASCE 41-13 standartlarındaki modelleme parametrelerinin aynı olduğu, TBDY-2018’de model parametrelerinin bulunmadığı görülmüştür. Öte yandan kabul kriterleri olarak plastik dönme açısı sınır değerleri, FEMA 356 ve ASCE 41-06 değerleri aynı iken ASCE 41-13 ve TBDY-2018 değerleri de aynıdır. Tablo 6 incelendiğinde tüm elemanlardaki hasar düzeyleri, FEMA 356 ve ASCE 41-06 için aynı iken ASCE 41-13 ve TBDY-2018 için de aynıdır. Tüm elemanlardaki plastik dönme değerleri arttıkça hasar düzeyinin arttığı belirlenmiştir. Onuncu, onikinci ve onüçüncü adımlardaki plastik mafsalları oluşumlarında standartlar arasındaki hasar düzeylerinde farklılıklar olduğu görülmüştür. Süneklik düzeyi sınırlı kirişler ve eksenel yük düzeyi ($P/P_c < 0,20$) koşulu altındaki süneklik düzeyi sınırlı kolonlar için TBDY-2018 ile ASCE 41-13’deki plastik dönme açısında bağlı olarak şekil değiştirme sınır durumlarının aynı olduğu, bir başka deyişle hasar tahminlerinin aynı olduğu tespit edilmiştir.

TBDY-2018’deki Tablo 5C.1. ile 5C.2.’de yer alan plastik dönme sınır değerlerinin ASCE 41-13 standardında yer alan sınır değerleriyle birebir uyumlu olmadığı, TBDY-2018’de plastik mafsalları parametrelerinin ve beklenen eğilme dayanımlarının hesabına ilişkin herhangi bir denklemin bulunmadığı görülmüştür. FEMA 356 ve ASCE 41-06 standartları, ASCE 41-13 standardı ve TBDY-2018 dikkate alınarak yapılacak hasar tahminlerinde kolon ve kiriş elemanları için farklı hasar durumlarının tahmin edileceği tespit edilmiştir. Kiriş ve kolon elemanlarındaki hasar tahmini için TBDY-2018’e plastik mafsalları parametrelerinin ve beklenen eğilme dayanımı hesabında kullanılacak denklemlerin eklenmesi gerekmektedir.

REFERANSLAR

- [1] Šipoš, T.K., Hadzima-Nyarko, M., 2018, “Seismic Risk of Croatian Cities Based on Building’s vulnerability”, Tehnički Vjesnik, Cilt 25, Sayı 4, ss. 1088-1094.
- [2] Acevedo, A.B., Yepes-Estrada, C., González, D., Silva, V., Mora, M., Arcila, M., Posada, G., 2020, “Seismic risk assessment for the residential buildings of the major three cities in Colombia: Bogotá, Medellín, and Cali”, Earthquake Spectra, Cilt 36, Sayı: 1, ss. 298-320.
- [3] Lignos, D.G., Krawinkler, H., Whittaker, A.S., 2010, “Prediction and Validation of Sidesway Collapse of Two Scale Models of a 4 Story Steel Moment Frame”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Cilt 40, Sayı 7, ss. 807-825.
- [4] Gioncu, V., Mosoarca, M., Anastasiadis, A., 2012, “Prediction of Available Rotation Capacity and Ductility of Wide-Flange Beams: Part 1: DUCTROT-M Computer Program”, Journal of Constructional Steel Research, Cilt 69, ss. 8-19.
- [5] Anastasiadis, A., Mosoarca, M., Gioncu, V., 2012, “Prediction of Available Rotation Capacity and Ductility of Wide-Flange Beams: Part 2: Applications”, Journal of Constructional Steel Research, Cilt 68, ss. 176-191.
- [6] Latour, M., Rizzano, G., 2013, “A Theoretical Model for Predicting the Rotational Capacity of Steel Base Joints”, Journal of Constructional Steel Research, Cilt 91, ss. 89-99.
- [7] Stylianidis, P.M., Nethercot, D.A., 2015, “Modelling of Connection Behaviour for Progressive Collapse Analysis”, Journal of Constructional Steel Research, Cilt 113, ss. 169-184.

- [8] Falborski, T., Torres-Rodas, P., Zareian, F., Kanvinde, A., 2020, ‘‘Effect of Base-Connection Strength and Ductility on the Seismic Performance of Steel Moment-Resisting Frames’’, Journal of Structural Engineering, Cilt 146, Sayı 5, ss. 1-15.
- [9] Torabian, S., Schafer, B.W., 2014, ‘‘Role of Local Slenderness in the Rotation Capacity of Structural Steel Members’’, Journal of Constructional Steel Research, Cilt 95, ss. 32-43.
- [10] Elkady, A., Lignos, D.G., 2015, ‘‘Analytical Investigation of the Cyclic Behavior and Plastic Hinge Formation in Deep Wide-Flange Steel Beam-Columns’’, Bull Earthquake Engineering, Cilt 13, ss. 1097-1118.
- [11] Araújo, M., Macedo, L., Castro, J.M., 2017, ‘‘Evaluation of the Rotation Capacity Limits of Steel Members Defined in EC8-3’’, Journal of Constructional Steel Research, Cilt 135, ss. 11-29.
- [12] EN 1993-8-3., 2005, Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings, European Committee for Standardization, Brussel.
- [13] ASCE 41-06., 2007, Seismic Evaluation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, A.B.D.
- [14] ASCE 41-13., 2014, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, A.B.D.
- [15] DBYBHY-2007., Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- [16] TBDY-2018., Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, İç İşleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [17] Ulutaş, H., 2019, ‘‘DBYBHY (2007) ve TBDY (2018) Deprem Yönetmeliklerinin Kesit Hasar Sınırları Açısından Kıyaslanması’’, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt 17, ss. 351-359.
- [18] Gardner, L., Yun, X., Fieber, A., Macorini, L., 2019, ‘‘Steel Design by Advanced Analysis: Material Modeling and Strain Limits’’, Engineering, Cilt 5, ss. 243-249.
- [19] Wong M. Bill., 2009, Plastic Analysis and Design of Steel Structures, Butterworth-Heinemann, Burlington, A.B.D.
- [20] Çakıroğlu, A., Özer, E., 1980, Malzeme ve Geometri Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt 1, Matbaa Teknisyenleri Basım Evi, İstanbul.
- [21] Chan, S.L., Chui, P.P.T., 2000, Non-Linear Static and Cyclic Analysis of Steel Frames With Semi-Rigid Connections, Elsevier Science.
- [22] FEMA 178., 1994, NEHRP Handbook for the Seismic Evaluation of Existing Buildings, Federal Emergency Management Agency, Reston, Virginia, A.B.D.
- [23] FEMA 273., 1997, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Reston, Virginia, A.B.D.
- [24] FEMA 310., 1998, Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Reston, Virginia, A.B.D.

- [25] FEMA 356., 2000, Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings, Federal Emergency Management Agency, Reston, Virginia, A.B.D.
- [26] ASCE 31-03., 2002, Seismic Evaluation of Existing Buildings, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, A.B.D.
- [27] ASCE 41-17., 2017, Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building, American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, A.B.D.
- [28] ÇYTHYDE-2018., Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Esaslar, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- [29] EN 1993-1-1., 2014, Eurocode 3: Design of structures – Part 1-1: General rules and rules for building. European Committee for Standardization, Brussel.
- [30] EN 10025-2., 2019, Hot rolled products of structural steels- Part 2: Technical delivery conditions for non-alloy structural steels. European Committee for Standardization, Brussel.

Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği Bulunan Betonarme Binaların Deprem Performansının Araştırılması

Berk Uyan¹, R. Tuğrul Erdem^{1*}

¹Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Manisa, Türkiye.

*tuğrul.erdem@cbu.edu.tr

Özet

Türk Bina Deprem Yönetmeliği-2018'de (TBDY-2018) tanımlanan ve düşey doğrultuda düzensizlik durumlarından biri olan komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat), özellikle zemin katları ticari amaçlar nedeniyle üst katlardan farklı tasarlanan mevcut betonarme binalarda yaygın olarak görülmektedir. Yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu katta yer alan kolonlarda, deprem etkisi altında oluşan yerdeğiştirmeler sonucunda kırılmalar gerçekleşmektedir. Bu çalışma kapsamında, yumuşak kat düzensizliğine sahip mevcut 3, 5 ve 7 katlı mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem güvenlikleri TBDY-2018'e göre incelenmiştir. Mevcut binalarda, kat planı, kesit ve malzeme özellikleri aynı olarak alınmıştır. Doğrusal olmayan yöntemlerinden sabit tek modlu itme yöntemi, binaların deprem performanslarını belirlemek için kullanılmıştır. Bilgisayar analizleri SAP2000 yapısal analiz programı ile gerçekleştirilmiştir. Farklı zemin sınıflarında bulunan binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşacak hasar durumlarını belirlemek için, analizler iki farklı zemin sınıfı için yapılmıştır. Mevcut betonarme binaların performans düzeyleri, farklı kat adetleri ve zemin sınıflarına göre karşılaştırmalı olarak sunulmuş ve önerilerde bulunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Deprem performansı, Hasar seviyeleri, TBDY-2018, Yumuşak kat

Investigation of Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings Having Stiffness Irregularity between Adjacent Floors

Abstract

Stiffness irregularity between adjacent stories (soft story) which is one of the irregularities in the vertical direction and defined in the Turkish Building Earthquake Code-2018 (TBEC-2018), is widely seen in existing reinforced concrete buildings, especially the ground floors of which are designed differently from the upper floors due to commercial purposes. Fractures occur in columns that exist in the soft story irregularity as a result of displacements under the influence of earthquakes. In the scope of this study, structural system safeties of 3, 5 and 7 storey existing reinforced concrete buildings having soft story irregularity are investigated according to TBEC-2018. Floor plan, section and material properties are taken as common in the existing buildings. Constant single mode pushover method that is one of the non-linear methods is utilized to determine the seismic performances of the buildings. Computer analyses are

performed by SAP2000 structural analysis software. Analyses are performed for two soil classes to determine the damage situations of the structural members of the buildings located in different soil classes. Performance levels of the existing reinforced concrete buildings are presented comparatively according to different story numbers and soil classes and suggestions are made in the end.

Keywords: Seismic performance, Damage levels, TBEC-2018, Soft story

1. GİRİŞ

Türkiye topraklarının önemli bir kısmı aktif deprem kuşağında bulunmaktadır. Bunun sonucu olarak, özellikle son zamanlarda ülkemizde yaşanan depremler can ve mal kayıplarına neden olmuştur. Mevcut binalarda deprem etkisinde oluşabilecek hasar seviyesine bağlı olarak değerlendirilen güvenlik durumu, deprem performansı olarak isimlendirilebilir. Taşıyıcı sistem düzensizliklerinin yanı sıra, beton kalitesinin düşük olması, donatı korozyonu, tasarım ve uygulama aşamasında yapılan hatalar mevcut betonarme binaların deprem performanslarını olumsuz olarak etkilemektedir.

Yumuşak kat düzensizliği, Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, bodrum katlar dışında, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısının 2.0'den fazla olması durumu olarak TBDY-2018'de tanımlanmıştır [1]. Genel olarak, ticari amaç ile kullanılan katlardaki kat yüksekliklerinin fazla olması ve dolgu duvarların binadaki diğer katlara göre az olması yumuşak kat düzensizliğine sebep olmaktadır. Yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu katta, deprem etkisi altında büyük yatay yerdeğiştirmelerin olması sonucu, taşıyıcı sistemde hasarlar oluşmaktadır. Bu sebeple, yumuşak kat düzensizliğine sahip binaların deprem performanslarının farklı yönetmeliklere göre değerlendirildiği çalışmalar literatürde yer almaktadır.

Erdem (2016) çalışmasında, yumuşak kat düzensizliğine sahip mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem güvenliğini farklı şartnamelere göre araştırmıştır [2]. Çomaklı (2019) yaptığı tez çalışmasında, 4, 8 ve 12 katlı betonarme çerçeve binaları farklı zemin kat yükseklik değerlerini dikkate alarak modellemiş ve binalardaki hasar düzeylerini incelemiştir [3]. Altıntop (2007), yumuşak kat düzensizliği bulunan iki boyutlu, farklı kat ve açıklık sayısına sahip modelleri, artımsal itme ve zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz yöntemleriyle incelemiştir [4]. Şensoy (2018) tez çalışmasında, 4, 6 ve 8 katlı betonarme binalarda yumuşak kat düzensizliğini zaman tanım alanında yaptığı analizler ile incelemiştir [5]. Akansel V. H. (2017) doktora tez çalışmasında, düşeyde düzensiz betonarme binaların sismik tepkileri ile kod ve yönetmeliklerde tanımlanan yumuşak kat tanımlarının ne kadar etkin ve geçerli olduğunu araştırmıştır [6]. Kirac ve diğerleri (2011) çalışmalarında, yumuşak kat düzensizliği bulunan farklı kat sayısı ve kat yüksekliklerine sahip betonarme binaların deprem davranışını araştırmışlar ve çalışma sonucunda önerilerde bulunmuşlardır [7]. Colunga ve Garcia (2020) çalışmalarında, yumuşat veya zayıf kat düzensizliği bulunan basitleştirilmiş modeller üzerinde yaptıkları analiz sonuçlarını, Meksika deprem şartnamesi kapsamında değerlendirmiş ve önerilerde bulunmuşlardır [8]. Simpson ve Mahin (2018) çalışmalarında, taşıyıcı sistemde yumuşak kat etkisini azaltmak amacıyla deneysel ve nümerik olarak araştırma yapmışlardır [9].

Mevcut betonarme binaların deprem performansları doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemlere göre belirlenebilmektedir. Bununla birlikte, elastik ötesi davranışın daha gerçekçi olarak incelendiği ve daha çok parametre ve ayrıntılı değerlendirme gerektiren doğrusal olmayan analiz yöntemlerinin gerçeğe uygun sonuçlar verdiği bilinmektedir. Gelişen bilgisayar teknolojisiyle birlikte, mevcut binaların performans durumlarının doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerine göre araştırıldığı çalışmalara ilgi giderek artmaktadır.

Kap ve diğerleri (2019) makale çalışmalarında, 1999 Marmara ve Düzce depremlerinden etkilenmiş mevcut bir okul binasının analizini STA4-V14.1 programı ile yaparak, deprem performansını incelemiştir [10]. Soni ve Mistry (2006), farklı şartnamelere göre düşeyde düzensiz binaların deprem davranışlarının incelendiği çalışmaları ayrıntılı olarak incelemiştir [11]. Lee ve Ko (2007) yaptıkları çalışmalarında, betonarme perde duvar bulunan 17 katlı modellerin farklı düzensizlik durumları için deprem davranışlarını incelemiştir [12]. Verderame ve diğerleri (2010), mevcut betonarme davranışlarını yığılı plastik davranış modelini uygulayarak, doğrusal olmayan statik analiz yöntemi ile incelemiştir. Aksoylu ve diğerleri (2020) çalışmalarında, betonarme binaların deprem davranışlarını farklı zemin sınıfları için incelemiş ve yönetmeliklere göre karşılaştırmalı olarak sunmuşlardır. Bhole ve Dubal (2020), düzensiz çok katlı binaların analizlerini yaparak, sonuçları karşılaştırmalı olarak incelemiştir.

TBDY-2018'de ZA'dan ZF'ye kadar 6 adet yerel zemin sınıfı tanımlanmıştır. Bu çalışma kapsamında incelenen ZA yerel zemin sınıfı için zemin cinsi sağlam, sert kayalar olarak tanımlanmışken, ZD yerel zemin sınıfı için orta sıkı – sıkı kum, çakıl veya çok katı kil tabakaları zemin cinsi olarak ifade edilmiştir. Toplam 5 adet zemin sınıfı için üst 30 metredeki ortalama kayma dalgası hızı, ortalama standart penetrasyon darbe sayısı ve ortalama drenajsız kayma dayanımı sayısal olarak açıklanmıştır. ZF zemin sınıfı ise, sahaya özel araştırma ve değerlendirme gerektiren zeminler olarak ifade edilmiştir.

Bu çalışmada, ülkemiz mevcut yapı stokunda önemli bir yer tutan orta katlı betonarme binaların deprem performansları, doğrusal olmayan tek modlu itme yöntemine göre incelenmiştir. Bu amaçla, mevcut betonarme binalar 3, 5 ve 7 katlı olarak modellenmiştir. Tüm binalarda yumuşak kat düzensizliği bulunmaktadır. Ayrıca, mevcut binaların farklı zemin sınıflarındaki davranışlarını incelemek amacıyla, analizler ZA ve ZD yerel zemin sınıfları için gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar analizleri için SAP2000 yapısal analiz programı kullanılmıştır [16]. Literatürdeki çalışmalar değerlendirildiğinde, yapı stokunda önemli bir yere sahip farklı kat adetlerine sahip mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem güvenliği, bu çalışma kapsamında TBDY-2018'e göre değerlendirilmiştir. Ayrıca, deprem etkisinde yapısal hasarların sıklıkla görüldüğü yumuşak kat düzensizliğine sahip binalar, farklı zemin sınıfları için modellenmiştir. Mevcut betonarme binaların doğrusal olmayan performans analizlerin yapıldığı bu çalışmanın, literatüre katkıda bulunacağı değerlendirilmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

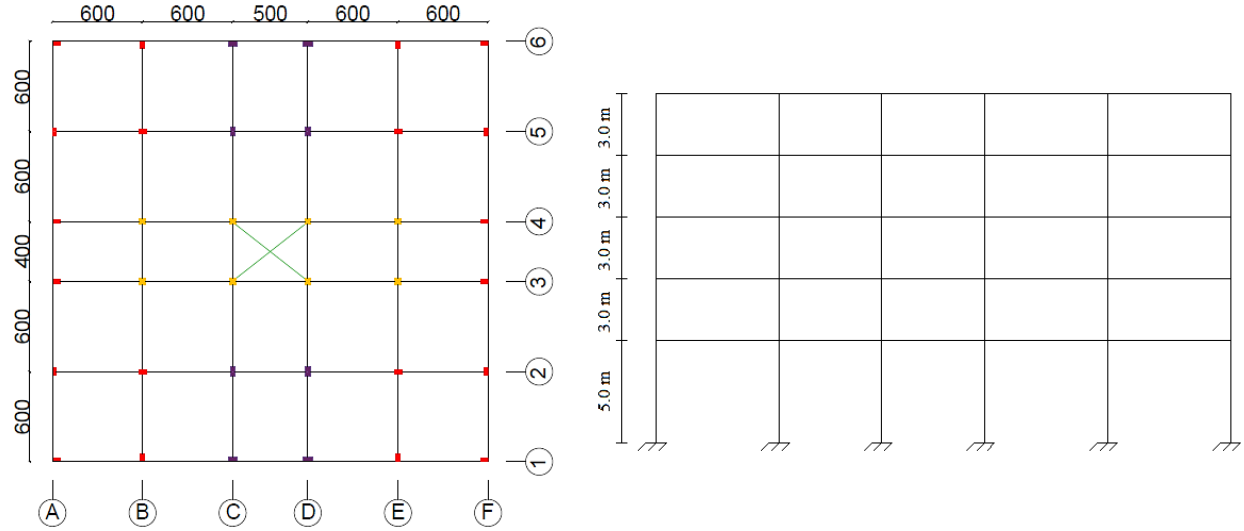
2.1 Yumuşak Kat Düzensizliği

Bölme duvarların kaldırılması, kat yüksekliğinin fazla olması gibi sebeplerle kat rijitliğinin azalması sonucunda, depremde yatay ötelenmelerin büyük olması sebebiyle betonarme binalarda hasarlara neden olan yumuşak kat düzensizliği, TBDY-2018'de aşağıda verilen denklemler ile belirlenmektedir. Denklemlerde ifade edilen rijitlik düzensizliği katsayısı (η_{ki}) değerinin 2.0'den büyük olması durumunda, yapıda yumuşak kat düzensizliği oluşmaktadır.

$$\eta_{ki} = \left(\Delta_i^{(x)} / h_i \right)_{ort} / \left(\Delta_{i+1}^{(x)} / h_{i+1} \right)_{ort} > 2 \text{ veya } \eta_{ki} = \left(\Delta_i^{(x)} / h_i \right)_{ort} / \left(\Delta_{i-1}^{(x)} / h_{i-1} \right)_{ort} > 2 \quad (1)$$

2.2 Binaların Özellikleri

Betonarme binalara ait ortak kat planı ve kat yükseklikleri Şekil 1'de sunulmuştur. Ayrıca, binaların kat yükseklikleri, taşıyıcı sistem geometrisi, taşıyıcı sistem elemanlarının malzeme ve kesit özellikleri ortaktır. Kat yüksekliği zemin katta 5.00 m, diğer katlarda ise 3.00 m'dir. Aks aralıkları x doğrultusunda 600-600-500-600-600 cm, y doğrultusunda 600-600-400-600-600 cm'dir.



Şekil 1. Binalara ait kat planı ve kat yükseklikleri

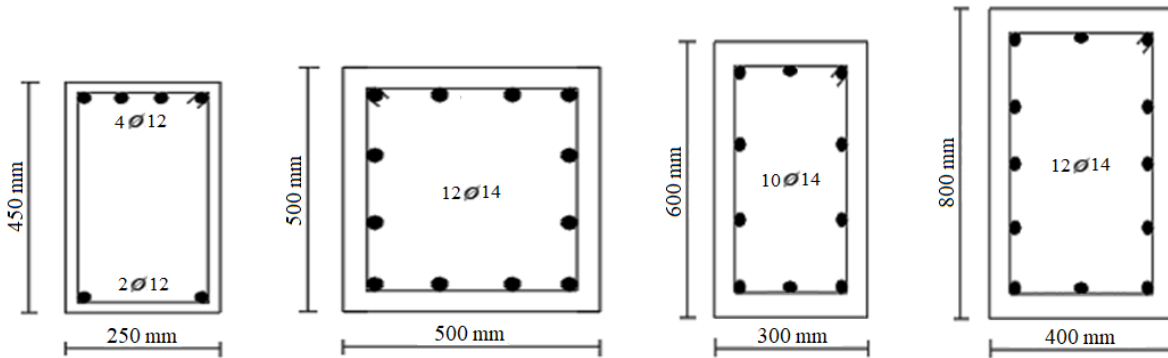
Kat planında üç farklı renk ile gösterilen kolon kesitleri 30x60 cm, 40x80 cm ve 50x50 cm, kiriş kesitleri 25x45 cm ve döşeme kalınlıkları 14 cm'dir. Malzeme olarak C20 beton sınıfı ve S420 donatı çeliği kullanılmıştır. Deprem yer hareketi düzeyi, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tekrarlanma periyodu 475 yıl) olan, "DD2" olarak uygulanmıştır. Tüm binalarda döşeme hareketli yük değerleri, son kat için 1.50 kN/m², diğer katlar için 2.00kN/m² olarak alınmıştır. Kolon ve kirişlerde 8 mm çapında çift kollu etriye kullanılmıştır. Kolonlarda etriyeler arası mesafe 15 cm iken, kirişlerde 20 cm'dir. Donatı pas payı değerleri 4 cm olarak alınmıştır. Kolon ve kiriş mesnet kesiti için boyuna donatı detayları Tablo 1 ve 2'de verilmiştir. Ayrıca, kesitler görsel olarak Şekil 2'de sunulmuştur.

Tablo 1. Kolon boyuna donatıları

Kesit boyutları	Boyuna donatı
30x60 cm	10Ø14
40x80 cm	12Ø14
50x50 cm	12Ø14

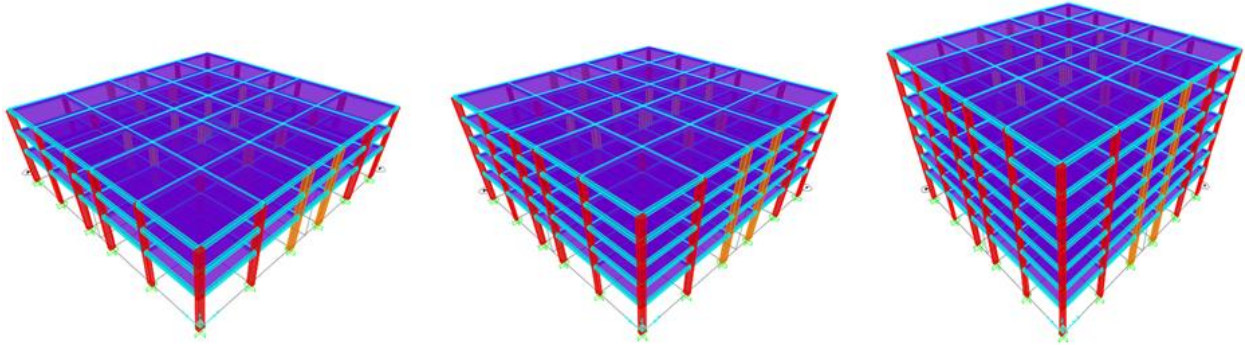
Tablo 2. Kiriş boyuna donatıları

Sol üst	Sol alt	Sağ üst	Sağ alt
4Ø12	2Ø12	4Ø12	2Ø12



Şekil 2. Kiriş ve kolon kesitleri

Mevcut betonarme binalar SAP2000 yapısal analiz programında 3, 5 ve 7 katlı olarak modellenmiştir. Binaların 3 boyutlu modelleri Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. Bina modelleri

Mevcut betonarme binalar için kolon, kiriş ve döşeme elemanları programda tanımlanmış ve ilgili kesitlere atanmıştır. Modal analiz sonuçlarına göre her bir doğrultu için elde edilen hakim periyot değerleri Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Periyot değerleri

Mevcut bina	Hakim periyot değerleri (s)	
	T_x	T_y
3 katlı model	0.872	0.917
5 katlı model	1.314	1.372
7 katlı model	1.749	1.819

Zemin kat yüksekliğinin diğer katlara göre fazla olması nedeniyle, Denklem (1) ile verilen zemin kat ortalama görel kat ötelemesi oranının, bir üst kattaki ortalama görel kat ötelemesi oranına bölünmesiyle rijitlik düzensizliği katsayısı hesaplanmıştır. Mevcut binalar için ZA ve ZD yerel zemin sınıflarına göre ayrı ayrı belirlenen değerler her bir doğrultu için Tablo 4'te sunulmuştur. Rijitlik düzensizliği katsayısı değerinin 2.0'den büyük olduğu için, tüm binalarda TBDY-2018'e göre yumuşak kat düzensizliği bulunmaktadır.

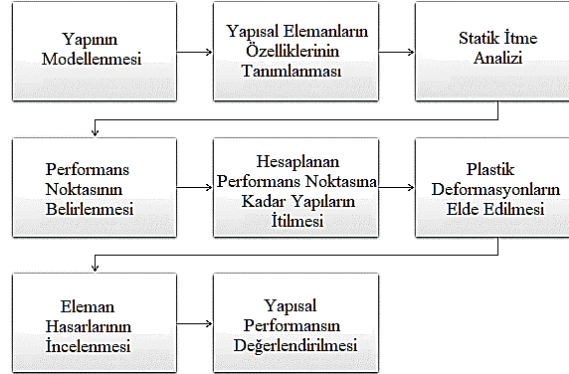
Tablo 4. Rijitlik düzensizliği katsayısı

Mevcut bina	ZA – x doğrultusu	ZD – x doğrultusu	ZA – y doğrultusu	ZD – y doğrultusu
3 katlı model	2.166	2.467	2.173	2.468
5 katlı model	2.244	2.441	2.279	2.558
7 katlı model	2.345	2.651	2.469	2.706

4. SABİT TEK MODLU İTME YÖNTEMİ

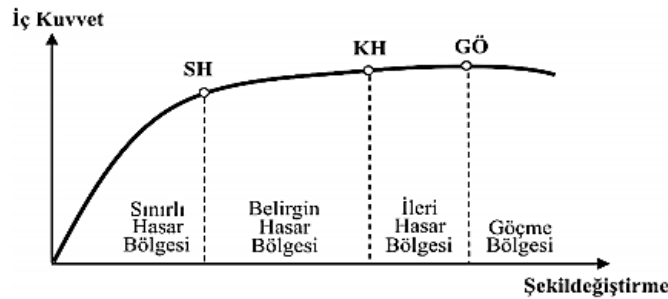
TBDY-2018'de tanımlanan sabit tek modlu itme yönteminde, göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir itme adımında, katlara etkiyen deprem yükü artımları, deprem dışı yüklemelerden sonraki birinci adımda belirlenen ve itme hesabı boyunca hiç değiştirilmeyen sabit mod şekli ile orantılı olarak tanımlanırlar. İtme hesabı sonucunda koordinatları tepe yerdediştirilmesi – taban kesme kuvveti olan itme eğrisi elde edilir. Daha sonra, bu eğriye uygulanan koordinat dönüşümü ile koordinatları modal yerdediştirme – modal sözde-ivme olan modal kapasite diyagramı elde edilir. Hesabın son aşamasında bu diyagram, tanımlanan deprem etkisi altında modal yerdediştirme talebinin ve buna bağlı olarak taşıyıcı sistemde meydana gelen iç kuvvet ve plastik şekil değiştirme taleplerinin hesaplanmasında esas alınır.

Statik itme analizi ile genel olarak yapıların yatay yükler altındaki performansları incelenmektedir [17]. Bu analiz ile taban kesme kuvveti ve tepe noktası deplasmanı arasındaki ilişkiyi ortaya koyan kapasite eğrisi ile yapısal davranış ortaya koyulmaktadır. Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal olmayan özelliklerini dikkate alarak belirli adımlar halinde artırılan yatay yükler etkisi altında, yapının performans noktası olarak tanımlanan hedef yer değiştirme değerindeki performans sonuçlarını değerlendirilmektedir [18]. Bir yapı için modelleme aşamasından performans değerlendirilmesine kadar olan doğrusal olmayan analiz adımları Şekil 4'te sunulmuştur.



Şekil 4. Analiz adımları

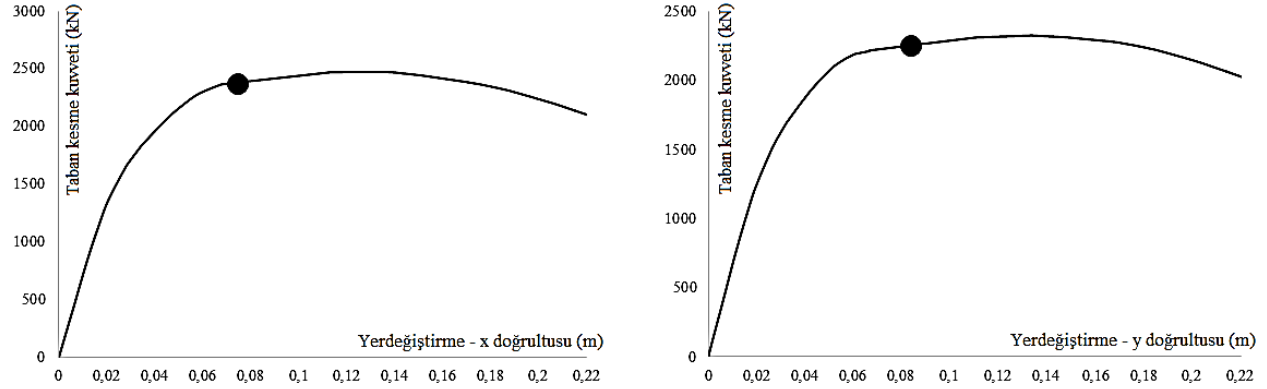
Doğrusal olmayan analiz ile taşıyıcı sistem elemanlarının kesit hasar bölgeleri TBDY-2018'e göre belirlenmektedir. Şekil 5'te verilen eğride tanımlanan sınırlar sırasıyla sınırlı hasar, kontrollü hasar ve göçmenin önlenmesi olarak ifade edilmiştir. Sınırlı hasar sınırında, yapısal elemanlarda bazı çatlaklar görülebilirken, kontrollü hasar sınırında bazı elemanlarda hasarlar oluşabilir. Göçmenin önlenmesi sınır düzeyinde ise iler düzeyde hasarlar oluşmaktadır. Kritik kesitlerinin hasarı sınırlı hasara ulaşmayan elemanlar Sınırlı Hasar Bölgesinde (SHB), sınırlı hasar ile kontrollü hasar arasında kalan elemanlar Belirgin Hasar Bölgesinde (BHB), kontrollü hasar ile göçmenin önlenmesi arasında kalan elemanlar İleri Hasar Bölgesinde (İHB) ve göçmenin önlenmesini aşan elemanlar ise Göçme Bölgesinde (GÖ) yer alırlar.



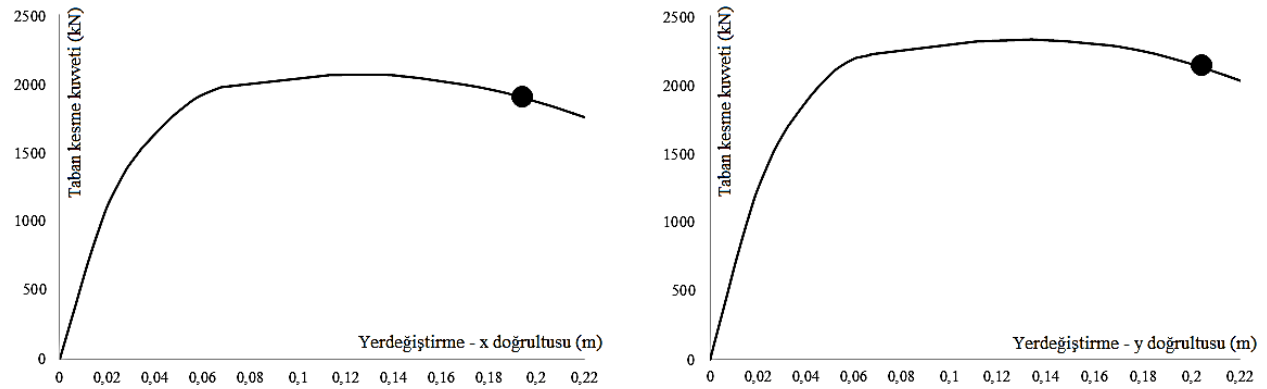
Şekil 5. Hasar bölgeleri

5. BULGULAR

Binalar her iki zemin sınıfı için belirlenen performans noktalarına kadar itilerek, taşıyıcı sistem güvenlikleri incelenmiştir. Örnek olması açısından, 5 katlı mevcut betonarme binanın her bir doğrultudaki taban kesme kuvveti – tepe noktası yer değiştirme eğrileri Şekil 6 ve 7'de gösterilmiştir. Hesaplanan performans noktaları şekiller üzerinde işaretlenmiştir [19].



Şekil 6. ZA zemin sınıfı için 5 katlı bina eğrileri



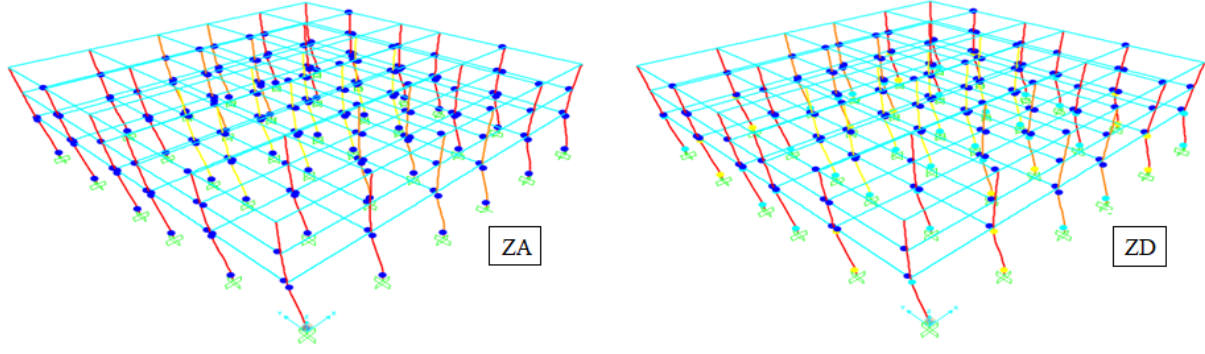
Şekil 7. ZD zemin sınıfı için 5 katlı bina eğrileri

Tüm mevcut betonarme binalar için hesaplanan performans noktaları, her bir doğrultu ve yerel zemin sınıfı için Tablo 5'te verilmiştir.

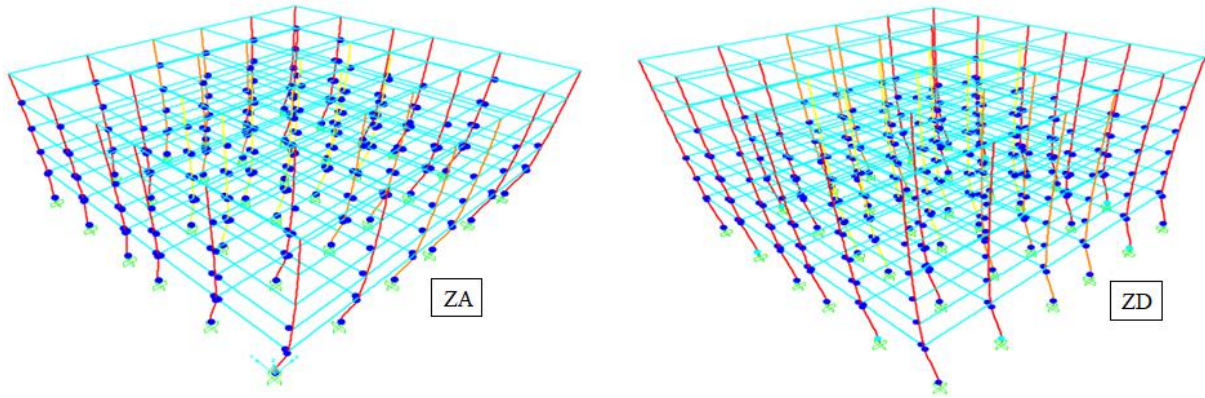
Tablo 5. Performans noktaları

Mevcut bina	ZA zemin sınıfı		ZD zemin sınıfı	
	X doğrultusu (m)	Y doğrultusu (m)	X doğrultusu (m)	Y doğrultusu (m)
3 katlı model	0.0520	0.0547	0.1300	0.1368
5 katlı model	0.0783	0.0818	0.1959	0.2046
7 katlı model	0.1043	0.1085	0.2609	0.2712

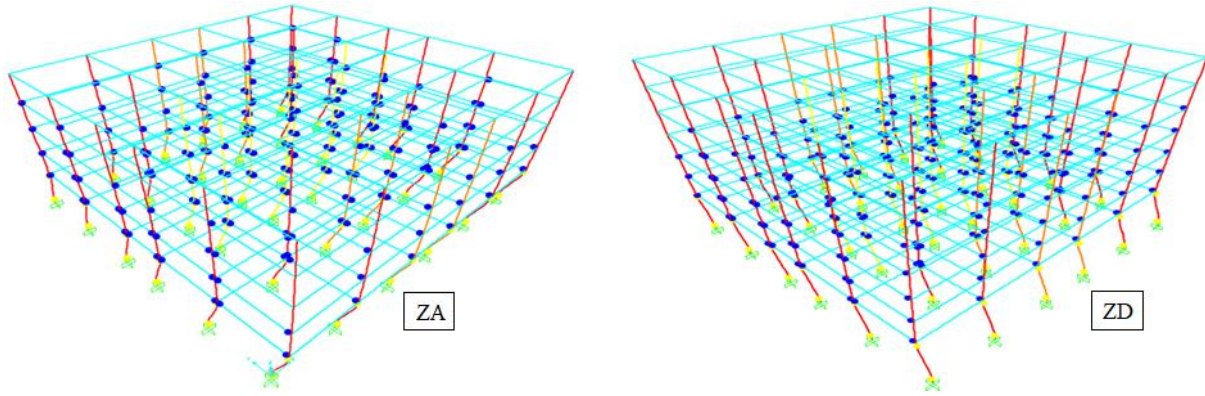
Doğrusal olmayan analizler ile hesaplanan performans noktalarında, kolon ve kiriş elemanlarda plastik mafsallar oluşmuştur. Performans noktası değerlerinin daha büyük çıktığı y doğrultusu için elde edilen plastik mafsall dağılımları, zemin sınıflarına göre Şekil 8-10'da sunulmuştur [19].



Şekil 8. 3 katlı binada oluşan plastik mafsallar

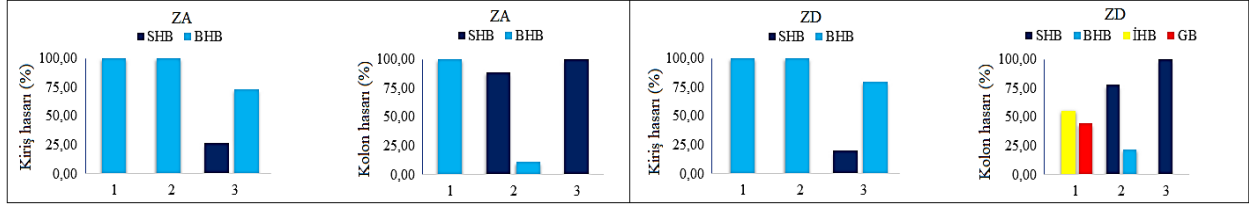


Şekil 9. 5 katlı binada oluşan plastik mafsallar

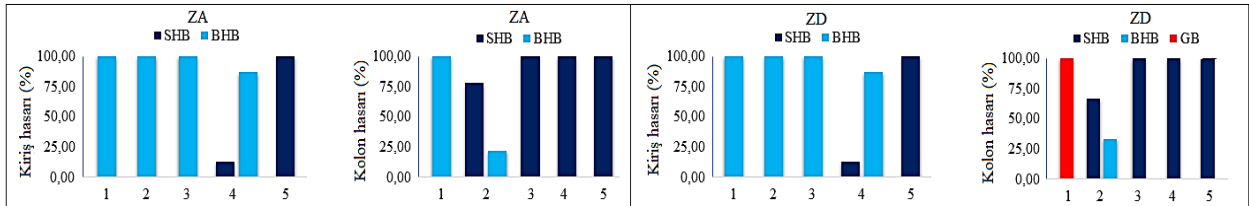


Şekil 10. 7 katlı binada oluşan plastik mafsallar

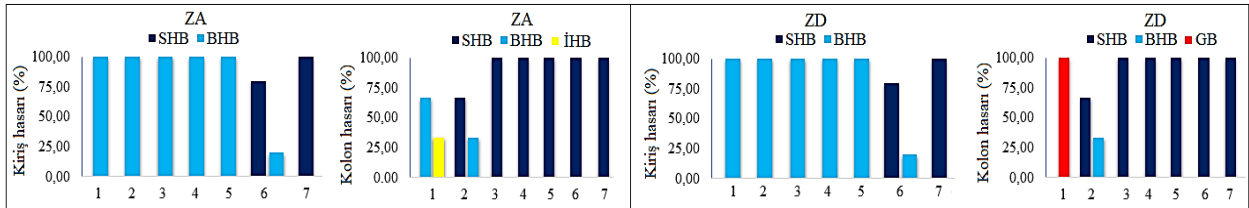
Mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasar durumları, plastik mafsallara göre belirlenmiştir. Elemanlarda oluşan hasar dağılımları kat adetlerine ve zemin sınıflarına göre Şekil 11-13 arasında görsel olarak sunulmuştur.



Şekil 11. 3 katlı binada oluşan hasar oranları



Şekil 12. 5 katlı binada oluşan hasar oranları



Şekil 13. 7 katlı binada oluşan hasar oranları

3 katlı binada, ZA yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %63'ü SHB, %37'si BHB, kirişlerin %9'u SHB, %91'i BHB, y doğrultusunda kolonların %67'si SHB, %33'ü BHB, kirişlerin %16'sı SHB ve %84'ü BHB'de yer almaktadır. ZD yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %59'u SHB, %41'i BHB, kirişlerin %7'si SHB, %93'ü BHB, y doğrultusunda kolonların %67'si SHB, %22'si İHB ve %11'i GB, kirişlerin %16'sı SHB ve %84'ü BHB'de yer almaktadır.

5 katlı binada, ZA yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %76'sı SHB, %24'ü BHB, kirişlerin %23'ü SHB, %77'si BHB, y doğrultusunda kolonların %77'si SHB, %23'ü BHB, kirişlerin %23'ü SHB ve %77'si BHB'de yer almaktadır. ZD yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %73'ü SHB, %7'si BHB ve %20'si GB, kirişlerin %23'ü SHB, %77'si BHB, y doğrultusunda kolonların %76'sı SHB, %4'ü BHB ve %20'si GB, kirişlerin %25'i SHB ve %75'i BHB'de yer almaktadır.

7 katlı binada, ZA yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %81'i SHB, %14'ü BHB ve %5'i İHB, kirişlerin %26'sı SHB, %74'ü BHB, y doğrultusunda kolonların %83'ü SHB, %14'ü BHB ve %3'ü İHB, kirişlerin %30'u SHB ve %70'i BHB'de yer almaktadır. ZD yerel zemin sınıfı için x doğrultusunda kolonların %81'i SHB, %5'i BHB ve %14'ü GB, kirişlerin %26'sı SHB, %74'ü BHB, y doğrultusunda kolonların %83'ü SHB, %3'ü BHB ve %14'ü GB, kirişlerin %33'ü SHB ve %67'si BHB'de yer almaktadır.

Mevcut betonarme binaların taşıyıcı sistem elemanlarında oluşan hasarlar, her bir zemin sınıfı için aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Oluşan hasar durumları, hasarın daha fazla olduğu kritik doğrultu için verilmiştir [19].

Tablo 6. ZA zemin sınıfı için 3 katlı binada oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	36	–	–
	2	32	4	–	–
	3	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–
	2	–	30	–	–
	3	8	22	–	–

Tablo 7. ZD zemin sınıfı için 3 katlı binada oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	–	20	16
	2	28	8	–	–
	3	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–
	2	–	30	–	–
	3	6	24	–	–

Tablo 8. ZA zemin sınıfı için 5 katlı binada oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	36	–	–
	2	28	8	–	–
	3	36	–	–	–
	4	36	–	–	–
	5	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–
	2	–	30	–	–
	3	–	30	–	–
	4	4	26	–	–
	5	30	–	–	–

Tablo 9. ZD zemin sınıfı için 5 katlı binada oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	–	–	36
	2	24	12	–	–
	3	36	–	–	–
	4	36	–	–	–
	5	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–
	2	–	30	–	–
	3	–	30	–	–
	4	4	26	–	–
	5	30	–	–	–

Tablo 8. ZA zemin sınıfı için 7 katlı binada oluşan hasar durumları

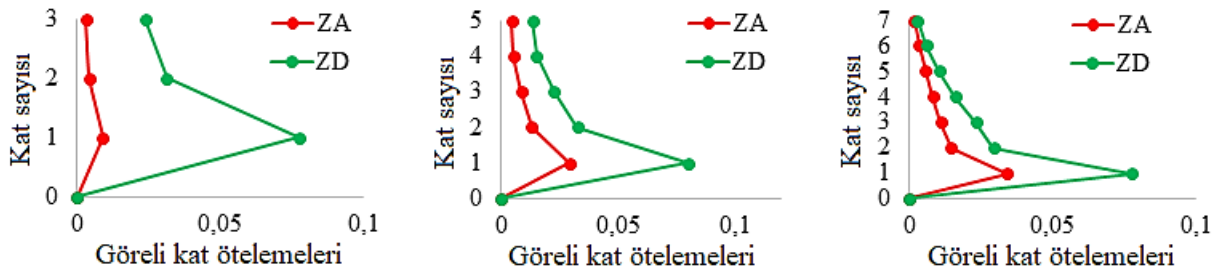
Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	24	12	–
	2	24	12	–	–
	3	36	–	–	–
	4	36	–	–	–
	5	36	–	–	–
	6	36	–	–	–
	7	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–

2	–	30	–	–
3	–	30	–	–
4	–	30	–	–
5	–	30	–	–
6	24	6	–	–
7	30	–	–	–

Tablo 8. ZD zemin sınıfı için 7 katlı binada oluşan hasar durumları

Eleman	Kat no	SHB	BHB	İHB	GB
Kolon	1	–	–	–	36
	2	24	12	–	–
	3	36	–	–	–
	4	36	–	–	–
	5	36	–	–	–
	6	36	–	–	–
	7	36	–	–	–
Kiriş	1	–	30	–	–
	2	–	30	–	–
	3	–	30	–	–
	4	–	30	–	–
	5	–	30	–	–
	6	24	6	–	–
	7	30	–	–	–

Hasar dağılımlarının yanı sıra, binalarda oluşan yerdeğiştirmeyi katlara göre incelemek için görel kat ötelemeleri belirlenmiştir. Her bir bina için oluşturulan eğriler iki farklı zemin sınıfı için Şekil 14’te verilmiştir [19]. Yumuşak katın görel kat ötelemeleri üzerindeki etkisi şekilde görülmektedir. Ayrıca, sağlam zeminden gevşek zemine doğru gidildikçe, eğriler arasındaki fark belirginleşmektedir.



Şekil 14. Binalarda oluşan görel kat ötelemeleri

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, ülkemiz yapı stokunda önemli bir yere sahip kolon-kiriş çerçeve sistemden oluşan orta katlı mevcut betonarme binaların deprem performansları TBDY-2018’e göre incelenmiştir. Binalarda, geçmiş depremlerde önemli yapısal hasarlara neden olan yumuşak kat düzensizliği bulunmaktadır. Ayrıca, taşıyıcı sistem güvenliğinin belirlenmesinde daha gerçekçi sonuç alabilmek için doğrusal olmayan analiz yöntemlerinden olan tek modlu itme yöntemi kullanılmıştır. Binaların farklı zemin sınıflarında yer alacağı göz önünde bulundurularak, analizler ZA ve ZD yerel zemin sınıflarına göre gerçekleştirilmiştir.

Yumuşak kat düzensizliği içeren farklı kat adedi ve bina yüksekliğine sahip 3, 5 ve 7 katlı mevcut betonarme binaların deprem davranışı ve deprem performansları incelendiğinde, sağlam kaya ZA yerel zemin sınıfı üzerinde inşa edilmiş binaların kontrollü hasar performans düzeyini sağladığı

gözlemlenmiştir. Orta sıkı kum, çakıl ve çok katı killi zemin (ZD) yerel zemin sınıfında bulunan tüm binalarda ise yumuşak katın bulunduğu katta göçme durumu oluşmuştur. Bu durum, zemin parametrelerinin bina performansı üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır.

Analiz sonuçlarına göre, kat adetlerindeki farklılık binalarda oluşan görece kat ötelemelerini etkilemektedir. Ayrıca, komşu katlar arası rijitlik düzensizliğinin bulunduğu katlarda oluşan görece kat ötelemeleri, tüm binalar için belirgin şekilde ortaya çıkmaktadır. Böylece, yatay yükler etkisinde yumuşak katta oluşan büyük yerdeğiştirmeler görülmektedir. Bununla birlikte, zemin parametrelerine bağlı olarak tüm katlarda oluşan öteleme değerleri farklılık göstermektedir.

Sonuç olarak, TBDY 2018’de tanımlanan ve düşeyde düzensizlik durumlarında yumuşak kat düzensizliğine sahip olan 3, 5 ve 7 katlı mevcut betonarme binaların deprem performansları incelendiğinde, hiçbir binada sınırlı hasar performans düzeyi sağlanamamıştır. ZA yerel zemin sınıfında bulunan binaların kontrollü hasar performans düzeyini sağladığı gözlemlenmiştir. Binaların ZD yerel zemin sınıfında bulunması durumunda, tüm binalarda yumuşak kat düzensizliğinin bulunduğu katta göçme durumu oluşmuştur. Deprem yüklerinin betonarme çerçeveler ile karşılandığı düzensiz binalarda, zeminin etkisi göz önünde bulundurulduğunda, taşıyıcı sistemde perde duvarların bulunması binaların deprem performansında iyileştirme sağlayacaktır. Bu çalışma, farklı düzensizlik durumları ve zemin sınıfları incelenerek geliştirilebilir.

REFERANSLAR

- [1] TBDY-2018, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [2] Erdem R.T. (2016). “Performance evaluation of reinforced concrete buildings with softer ground floors.” *Gravevinar* 68(1), 39-49.
- [3] Çomaklı, B. (2019). Düşük ve Orta Yükseklikteki Betonarme Binalarda Yumuşak Kat Düzensizliğinin ve Zemin Yapı Etkileşiminin Araştırılması. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [4] Altıntop, M. A. (2007). Analysis of Building Structures with Soft Storeys. Atılım University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Civil Engineering Department, M.Sc. Thesis.
- [5] Şensoy, E. Z. (2018). Betonarme Yapılarda Yumuşak Kat Etkilerinin Doğrusal Elastik Olmayan Analizle Belirlenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [6] Akansel, V. H. (2017). Effect of Soft Storey on Seismic Performance of Reinforced Concrete Buildings. Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Civil Engineering Department, Ph.D. Thesis.
- [7] Kirac, N., Dogan M., Ozbasaran, H (2011). “Failure of weak-storey during earthquakes.” *Engineering Failure Analysis* 18(2), 572-581.
- [8] Tena-Colunga, A., Hernandez-Garcia, D. A. (2020). “Peak seismic demands on soft and weak stories models designed for required code nominal strength.” *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 129, 1-17.
- [9] Simpson, B. G., Mahin, S. A. (2018). “Experimental and numerical investigation of strongback braced frame system to mitigate weak story behavior.” *Journal of Structural Engineering*, 144(2), 1-14.

- [10]Kap, T., Özgan E., Uzunoğlu M. (2019). “Betonarme bir okul binasının 2018 deprem yönetmeliğine göre incelenmesi.” Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 7(3), 1140-1150.
- [11]Soni, D. P., Mistry, B. B. (2006). “Qualitative review of seismic response of vertically irregular building frames.” Iset Journal of Earthquake Technology 43(4), 121-132.
- [12]Lee, H. S., Ko, D. W. (2007). “Seismic response characteristics of high-rise rc wall buildings having different irregularities in lower stories.” Engineering Structures 29 (11), 3149-3167.
- [13]Verderame, G. M., Polese, M., Mariniello, C., Manfredi, G. (2010). “A simulated design procedure for the assessment of seismic capacity of existing reinforced concrete buildings”. Advances in Engineering Software 41(2), 323-335.
- [14]Aksoylu, C., Arslan, M. H., Mobark, A., Erkan, İ. H. (2020). “A comparative study on ASCE 7-16, TBEC-2018 and TEC-2007 for reinforced concrete buildings.” Revista de la Construcción 19(2), 282-305.
- [15]Bhole, T. S., Dubal, R. (2020). “Seismic analysis of vertical irregular building.” International Journal of Advance Scientific Research and Engineering Trends 5(12), 234-238.
- [16]Sap2000, (1998). Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures Basic Analysis Reference Manual. Computers and Structures Inc., Berkeley, California.
- [17]Golghate, K. Vijay, B., Amit, S. (2013). “Pushover analysis of 4 storey’s reinforced concrete building.” International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology 2(3), 80-84.
- [18]Kara, K. (2021). Mevcut Betonarme Bir Binanın TB DY-2018’e Göre Deprem Performansının İncelenmesi ve Güçlendirilmesi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.
- [19]Uyan, B. (2021). Planda ve Düşeyde Düzensiz Mevcut Betonarme Binaların Doğrusal Olmayan Analizi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.